

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE BELAS-ARTES



ESCULTURA DIGITAL CONTEMPORÂNEA

José Manuel e Santos Silva Garcia Revez

Orientador: Prof. Doutor António José Santos De Matos

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de Doutor
no ramo de Belas-Artes, na especialidade de Escultura

2016

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE BELAS-ARTES



ESCULTURA DIGITAL CONTEMPORÂNEA

José Manuel e Santos Silva Garcia Revez

Orientador: Prof. Doutor António José Santos De Matos

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de Doutor
no ramo de Belas-Artes, especialidade de Escultura

Júri:

Presidente:

Doutor Fernando António Baptista Pereira, Professor Associado e Presidente do
Conselho Científico da Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Doutor José Maria da Silva Lopes, Professor Auxiliar
Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto;
- Doutor Nuno Manuel de Carvalho Ferreira Guimarães, Professor Catedrático
Escola de Tecnologias e Arquitetura do ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa;
- Doutor António José Santos De Matos, Professor Associado com Agregação
Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa, orientador;
- Doutor João Carlos de Castro Silva, Professor Auxiliar
Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa.

RESUMO

A escultura digital assume-se como uma forma paradigmática de expressão nos discursos plásticos do panorama da arte contemporânea. Decorrente de uma sociedade mediatizada, encontra o seu público nos fenómenos da Cultura Digital. Esta forma autónoma de escultura recorre aos meios tecnológicos digitais como instrumento cognitivo, imagético e operativo para adotar novas formas de criação, resgatando um diálogo interativo entre o sujeito e a obra.

Neste contexto os meios digitais são observados segundo duas perspetivas de relevo: por um lado, o digital assume-se como um *medium* de expressão escultórica, revelando a sua imaterialidade e a sua virtualidade, características deste meio. Como *medium* digital possibilita a interatividade, a simulação e a imersividade no seu espaço. Por outro lado, os meios digitais permitem uma panóplia de instrumentos que operam a diferentes níveis no processo de criação. Assim, o escultor dispõe de dispositivos que lhe possibilitam digitalizar em 3D referentes físicos, criar e modelar morfologias complexas e recorrer às tecnologias de impressão 3D de modo a materializar o seu objeto escultórico.

Esta realidade pode ser observada em duas áreas paradigmáticas da escultura: ao nível da prática profissional do escultor e ao nível do ensino e da aprendizagem desta disciplina. Em ambos os casos, a escultura digital contemporânea consubstancia-se como uma realidade da nossa sociedade digital, destacando novas problemáticas e temas de especulação que contribuem para o desenvolvimento dos estudos gerais e dos estudos tecnológicos de Escultura.

PALAVRAS-CHAVE

Escultura Digital; Arte Digital; Realidades Híbridas; Ensino da Escultura; Digitalização 3D; Modelação 3D e Prototipagem Rápida.

ABSTRACT

Digital sculpture is assumed as a paradigmatic form of expression in the artistic expression of the contemporary art scene. Resulting from a society influenced by media, it finds its audience in the phenomena of Digital Culture. This autonomous form of sculpture makes use of digital technological as a imagery and operating cognitive tool, to adopt new ways of creating, redeeming an interactive dialogue between the subject and the piece.

In this context, digital media is observed in two perspectives that stand out: on the one hand, digital is assumed as a medium of sculptural expression, revealing its immateriality and its virtuality, characteristics of the medium. As a digital medium it enables interactivity, simulation and immersiveness in your space. On the other hand, digital media allows for a vast range of instruments operating at different levels in the creation process. Thus, the sculptor has devices that enable him to scan 3D physical references, creating and molding complex morphologies by making use of 3D printing technology in order to materialize his sculptural object.

This reality can be seen in two paradigmatic areas of sculpture: in the of the practice of the professional sculptor, and in the teaching and learning of this discipline. In both cases, contemporary digital sculpture is embodied as a reality of our digital society, highlighting emerging issues and speculating themes that contribute to the development of general studies and sculpture technological studies

KEY-WORDS

Digital sculpture; Digital art; Hybrid realities; Teaching sculpture; 3D scanning; Rapid Prototyping and 3D modeling.

AGRADECIMENTOS

Durante este percurso, que tomou a forma de peregrinação e que agora se aproxima do fim, não podia deixar de agradecer:

Ao sorriso da minha filha...

À cumplicidade da minha mulher...

Ao cuidado da minha mãe...

Aos amigos mais chegados, que confiaram e espicaçaram...

Aos colegas mais próximos, que insistiram e aconselharam...

Aos meus alunos, pelo entusiasmo partilhado...

A todos que, de alguma forma, ajudaram e apoiaram...

Por fim, ao Professor António Matos,

Pelas lições e exemplos de saber,

Pelo apoio e compreensão,

Pelos momentos de crítica, de educação e de amizade.

A todos, que foram muitos, o meu sincero Obrigado.

ESCULTURA DIGITAL CONTEMPORÂNEA

**Para a minha filha Leonor,
a melhor das minhas Realidades.**

ÍNDICE

Resumo	5
<i>Abstract</i>	6
Agradecimentos	7
Parte I	15
Introdução	17
Parte II	25
Capítulo 1.	
Cultura Digital	27
1.1. Estado da Arte	28
1.2. Sociedade e Cultura Digital	31
1.3. Arte Digital	45
Capítulo 2.	
Escultura Digital Contemporânea	55
2.1. Percursos da Escultura Digital	56
2.2. Como <i>Medium</i>	58
2.3. Como Instrumento Tecnológico	60
Parte III	63
Capítulo 3	
Tecnologias e Meios da Escultura Digital	65
3.1. Processos e Tecnologias Digitais	66
3.1.1. Aquisição de Dados Paramétricos	67
3.1.2. Tratamento de Dados Paramétricos	68
3.1.3. Aplicação de Dados	69
Capítulo 4	
Aquisição de Dados	75
4.1. Dispositivos de Aquisição de Dados	76
4.1.1. <i>Scanners</i> 3D	76
4.1.2. <i>Scanners</i> 3D <i>Open-source</i>	83
4.1.3. Fotogrametria	85
4.1.4. Fotogrametria Profissional	88
4.1.5. Fotogrametria DIY	91

4.2.	<i>Softwares</i> de 3D CAD	98
4.2.1.	Tipologia de <i>Softwares</i> de 3D CAD	100
4.3.	Bases de Dados Digitais	104
4.3.1.	Relação de Bases de Dados	107
Capítulo 5		
Tratamento de Dados		111
5.1.	Fases de Tratamento de Dados	112
5.1.1.	Fase de Refinamento	115
5.1.2.	Fase de Modificação	116
5.1.3.	Fase de Modelação	117
5.2.	Contextualização dos Programas de 3D CAD	118
5.3.	Visualização e Representação em 3D	122
5.3.1.	Elementos de Construção em 3D CAD	127
5.4.	<i>Softwares</i> de 3D CAD	159
5.4.1.	<i>Softwares</i> de Modelação 3D	165
5.5.	Pré-aplicação de Dados	175
Capítulo 6		
Aplicação de Dados		179
6.1.	Aplicação Material	180
6.2.	Prototipagem Rápida Aditiva	183
6.3.	Aplicação Digital	213
Parte IV		235
Capítulo 7		
O Digital no Âmbito do Ensino da Escultura		237
7.1.	Os meios Digitais no Ensino e na Aprendizagem	238
7.2.	Nas Artes Plásticas, Artes Digitais, <i>Design</i> e Arquitetura	244
7.3.	No Ensino da Escultura	247
Parte V		255
Conclusão		257
Bibliografia		265

INTRODUÇÃO

- Âmbito e tema

A Cultura Digital, sustentada por um forte aparato tecnológico e informacional, apresenta-se como palco de interação entre três polos dominantes da sociedade contemporânea: a Arte, a Ciência e a Tecnologia. Desta forma, assistimos ao desenrolar de práticas e teorias associadas aos novos paradigmas estéticos que vinculam o pensamento científico, tecnológico, sistêmico, sociológico e artístico.

Atualmente os meios digitais assumem um fator de desenvolvimento e de transformação nas diversas esferas da cultura contemporânea. O seu contributo permite, nas áreas das artes plásticas, do *design* e da arquitetura, novas formas de fazer e novos modos de saber que, de uma maneira acelerada, transfiguram todo um legado cultural adquirido.

Assistimos à constante reformulação da relação do conceito de sujeito com o objeto de arte, da materialidade, da definição de obra acabada, da originalidade e, de uma forma mais complexa, do papel de autor e do observador. Importa debruçarmo-nos sobre a articulação e atualização dos discursos que enformam as noções de virtualidade, de meta-autor, de interface, de hipertextualidade e de interatividade decorrentes da problemática do *Software Studies*.

Presentemente podemos observar uma crescente aplicação e disseminação das tecnologias informáticas de representação 3D, de modelação virtual e de animação. As diferentes áreas e disciplinas que laboram o espaço e a visualização (e.g. arquitetura escultura, *design* de produtos, engenharias, medicina e ensino) são exemplos paradigmáticos desta nova forma de fazer e de saber.

A utilização dos meios digitais permite a concetualização e a resolução de problemas que dificilmente encontrariam vias exequíveis através dos métodos tradicionalmente analógicos. Ao acrescentarem novas dimensões ao modo como o espaço se configura, podem orientar processos que respondem às necessidades de projeto, de produção e de manutenção, imprimindo uma forte componente sistémica nos ambientes em que operam.

Desta forma, empreende-se uma prática que elege, por excelência, o território virtual informatizado como ambiente de trabalho. Assim, o espaço virtual converte-se num cenário que permite a especulação e a reflexão, aliado à possibilidade de ensaio e de animação de sequências espaciais que, de outra forma, permaneceriam como representações gráficas estáticas.

Abrindo novas perspetivas ao processo projetual da escultura, cria-se um processo cognitivo que permite a interseção entre o universo digital/espaço virtual e o universo analógico/espaço físico material.

Deste modo, a produção digital é parte do processo evolutivo do pensamento e da cultura, expandindo, nos processos de projeto e de produção artística, a capacidade de produção de modelos físicos, de objetos, de elementos construtivos e de estruturas espaciais.

Neste contexto, os meios digitais permitem a introdução de novos modos de pensar, de imaginar e de criar, na prática da escultura contemporânea. Através destes meios permite-se a introdução de novas morfologias que decorrem de um léxico cultural que têm a sua gênese nas aplicações de modelação 3D.

- Problema e Objetivos

Cientes da problemática decorrente das noções de complementaridade e, simultaneamente, diferenciadoras entre arte e tecnologia, procuraremos contribuir para uma possível clarificação da problemática que observamos nas diferentes soluções apresentadas pelos discursos escultóricos contemporâneos, assim como para o aprofundamento da reflexão e da investigação em Escultura.

Esta investigação procura responder a dois âmbitos específicos: por um lado pretendemos observar os pressupostos teóricos que consubstanciam a realidade das artes digitais em geral, e da escultura digital em particular, considerando a sua aplicabilidade na área profissional da escultura.

Por outro lado procuraremos analisar a importância da utilização destes meios no ensino da escultura, de modo a encontrarmos alternativas tecnológicas que tenham uma aplicabilidade de destaque.

Decorrente de processos tecnológicos de vanguarda, a escultura digital assume um papel de destaque na cultura artística. No entanto, estes meios permitem observar duas realidades: por um lado, as tecnologias digitais podem considerar-se num *medium* de expressão do discurso escultórico ou, por outro lado, estas tecnologias podem assumir-se como instrumentos digitais para a prática escultórica. Deste modo pretendemos explorar a diferença e a interseção entre estes dois aspetos.

Deste modo, ao atribuir-se um *medium* digital como forma de expressão plástica, encontramos-nos perante uma matéria virtual, não tangível e sem qualidades táteis. Assim, resgatamos para esta investigação a problemática da imaterialidade escultórica.

Neste contexto, procuraremos observar quais os valores plásticos e estéticos da escultura digital, considerando os aspetos de virtualidade, de imersão, de simulação e de interatividade entre o sujeito e a obra.

- **Motivação**

Como docentes do departamento de Escultura da Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa consideramos a pertinência desta investigação, no sentido de procurarmos coligir saberes que possam permitir a enunciação de aspetos de relevo para o ensino e para a aprendizagem da escultura.

Além destes aspetos, pretendemos também contribuir para os estudos de escultura, uma vez que este tema tem por nós grande consideração. Presentemente lecionamos a unidade curricular de Escultura do 1º ano referente ao 1º ciclo de estudos. Paralelamente, lecionamos a unidade curricular de Desenho Digital 3D, no 2º ciclo de estudos. Face a estas duas realidades, procuraremos partilhar um saber que advém desta prática letiva, tendo a consciência das dificuldades e expetativas dos nossos alunos.

Numa perspetiva diferente, a temática referente à aplicabilidade dos meios digitais no âmbito das artes plásticas e no âmbito do ensino é por nós considerada desde os tempos de estudantes de escultura. Inclusive, o tema de investigação do nosso mestrado abordava a problemática dos meios digitais aplicados ao Ensino Superior.

Assim, aguardamos que esta investigação possa contribuir para a clarificação e para a difusão de assuntos e de problemas que consideramos significativos para a comunidade científica, para os escultores e para os alunos desta área.

- **Metodologia**

A metodologia de investigação aplicada consistiu na recolha de informação através da revisão da literatura de obras de referência nos seguintes âmbitos: escultura, artes digitais, estudos de *software*, obras técnicas, teorias da arte, sociologia e teorias da educação.

As fontes consultadas resultaram da pesquisa em bibliografias gerais, específicas, artigos de especialidade, bases de dados digitais disponíveis *on-line*. Neste sentido não remetemos algumas fontes para a bibliografia por serem redundantes. Além da consulta bibliográfica optámos por introduzir descrições decorrentes da nossa experiência profissional.

Neste contexto valemo-nos igualmente de anotações tomadas aquando de troca de informações com especialistas nos diferentes assuntos. Deste modo, esta investigação estrutura um corpo teórico e a exploração de um estudo de caso referente à nossa atividade de docente de teorias e práticas aqui exploradas.

- Composição da tese

O corpo do texto da nossa investigação encontra-se distribuído por cinco partes:

- A primeira parte consiste na Introdução desta investigação;
- A segunda parte refere-se aos capítulos 1 e 2 onde procuramos definir o conceito de estudo.

O capítulo 1 aborda a temática da Cultura Digital, em que procuramos explorar os conceitos teóricos que enformam a Sociedade Digital, a Cultura Digital e as particularidades e diferentes formas de expressão da Arte Digital.

O capítulo 2 refere-se à Escultura Digital. Neste capítulo procuraremos observar os aspetos que consubstanciam o seu percurso no âmbito das artes. Por outro lado, procuraremos analisar os meios digitais como *medium* de expressão artística e como instrumento digital para a prática escultórica.

- A terceira parte refere-se aos métodos e procedimentos tecnológicos decorrentes da utilização dos meios digitais nas áreas da escultura. Esta parte é composta pelo capítulo 3, capítulo 4, capítulo 5 e capítulo 6. Note-se que esta parte apresenta uma estrutura mais volumosa, uma vez que se pretende descrever diversas soluções tecnológicas digitais.

Deste modo, o capítulo 3 apresenta a descrição metodológica, de forma resumida, para os diferentes estágios do processo conducente à realização de uma escultura digital.

O capítulo 4 aborda as formas de aquisição de dados volumétricos através das tecnologias de digitalização 3D, da Fotogrametria, dos Repositórios de Bases de Dados Digitais e introduz o leitor às soluções de *softwares* de 3D CAD.

No capítulo 5 procuramos descrever os meios tecnológicos relativos ao tratamento dos dados volumétricos. Deste modo indicaremos os programas de reparação de malhas de superfície poligonal e daremos destaque aos diferentes programas de modelação paramétrica 3D e de modelação escultórica em 3D.

O capítulo 6 apresenta as duas alternativas de aplicabilidade de um modelo 3D, consistindo num produto materializado ou num produto virtual. Deste modo, iremos observar as alternativas para a manufatura aditiva e manufatura subtrativa, dando mais destaque às tecnologias de impressão 3D e aos dispositivos de Realidade Aumentada e Realidade Virtual.

- A quarta parte consiste na observação de um estudo de caso que decorre da nossa atividade profissional.

O capítulo 7 é assim reservado para a exposição dos aspetos mais significativos que pudemos observar na lecionação da unidade curricular de Desenho Digital 3D do 2º ciclo de estudos.

Por fim, a quinta parte consiste na Conclusão, em que apresentamos os aspetos mais relevantes desta investigação, assim como propostas de desenvolvimento futuro para o âmbito profissional, ensino e para a criação de laboratórios experimentais de tecnologias 3D na nossa Faculdade.

CAPÍTULO 1.

CULTURA DIGITAL

*«Welcome to the world of permanent change;
the world that is now defined not by heavy
industrial machines that change infrequently,
but by software that is always in flux».*

Lev Manovich¹

*«I am optimistic by nature. However, every
technology or gift of science has a dark side.
Being digital is no exception».*

Nicholas Negroponte²

As sociedades humanas têm observado diversas alterações que, pontualmente, desencadeiam novas estruturas e exigências. Deste modo, a humanidade desenvolve o seu tecido social através de períodos que marcam significativamente a sua história. Estes instantes caracterizam-se por “revoluções” que transformam o percurso da política, da economia, do território e, por exemplo, da cultura.

¹ Lev Manovich in *Softwares Takes Command*, 2013: p. 13.

² Nicholas Negroponte in *Being Digital*, 1995: p. 227.

De um modo geral, as revoluções sociais dependem do desenvolvimento dos aspetos tecnológicos de um grupo de indivíduos, permitindo a implantação das suas imposições, das suas vontades e dos seus costumes. Na verdade, a história das grandes civilizações tem sido forjada de acordo com o poderio tecnológico que estas detêm, sobrepondo-se a grupos sociais mais fracos ou absorvendo soluções técnicas supérfluas.

A revolução digital permitiu transformar as sociedades contemporâneas – ditas desenvolvidas – de uma forma nunca antes observada. Esta realidade foi alterada de tal forma que a rapidez com que se desenrola não nos permite apreender a sua totalidade. As transformações operadas à escala global imprimiram novos paradigmas nas estruturas sociais, criando particularidades que dificilmente poderão ter retrocesso.

Assim, neste primeiro capítulo pretendemos analisar alguns dos aspetos que decorrem da estrutura da sociedade digital, dando particular atenção ao âmbito da cultura e, subsequentemente, às realidades que se observam nas diversas manifestações da arte digital.

1.1.

Estado da Arte

Nos finais do século XX, assistimos a um exponencial desenvolvimento do universo digital, conduzindo a um processo de profundas transformações que se disseminou pelas mais variadas áreas da nossa sociedade, despoletando mudanças irreversíveis no panorama da realidade da sociedade contemporânea.

Atualmente as tecnologias digitais detêm o monopólio do controlo militar, científico, económico, tecnológico, social e cultural. Os paradigmas socioeconómicos são também hoje reféns de um aparato digital que legitima um procedimento sistémico que se auto regula, impedindo a manifestação de outras intervenções e de outras alternativas.

Segundo algumas perspetivas, podemos afirmar que os aspetos relativos a esta aparente “tecnocracia” contribuem para o desenvolvimento de um novo tipo de cultura: a Cultura Digital. De acordo com Lev Manovich (2013), as tecnologias digitais permitiram a fundação e o contínuo desenvolvimento da sociedade de informação global.

De certo modo, podemos criar uma analogia entre o papel dos meios digitais – como entidade omnipresente na legislação da estrutura dos diferentes aspetos da revolução digital – e o impacto que o motor de combustão e a eletricidade tiveram na Revolução Industrial.

Assim, criando uma metáfora tentacular, as tecnologias digitais acabaram por criar e por ampliar os paradigmas da sociedade da informação, ao permitirem o aparecimento da “aldeia global” e, indubitavelmente, para a emergência da “cultura global”.

Desta forma, assistimos nos últimos vinte anos à gradual substituição da maioria das tecnologias que surgiram no final do século XIX e que se disseminaram durante o século XX, depreendendo que vivemos dependentes de uma cultura em que a produção, a distribuição e a fruição estão mediadas pelos meios digitais. Assim, os mercados livres capitalistas, aliados ao fenómeno da tecnologia, encontram as “autoestradas” para a disseminação do seu poder e da sua influência.

No universo das artes plásticas, a presença desta realidade tem influenciado um vasto legado de soluções estéticas que ecoam nas mais variadas soluções artísticas e nas poéticas de autor. Neste contexto, a partir dos anos 90 do século passado temos assistido a uma difusão significativa de obras e de aplicabilidades tecnológicas relativas à temática da Escultura Digital.

No entanto, a génese das artes digitais encontra os seus primeiros ensaios na problemática emergente da relação entre arte e tecnologia, presente nas propostas de movimentos artísticos e de artistas anteriores aos anos 90. Como exemplo, podemos

apontar o Dada, o Fluxos, a arte conceptual, Duchamp e Moholy-Nagy, entre outros, como referências deste tipo de relação.

O *State of the Art*³ dos meios digitais aplicados às diversas formas de arte (e.g. literatura, música, artes visuais, teatro, arquitetura e cinema) assume um processo de transformação constante. Decorrente de novas soluções que consecutivamente se ultrapassam e se intersejam entre si, atualmente as tecnologias digitais conformam temas de investigação ao nível do saber teórico e do saber prático.

Irremediavelmente, este cenário cria uma sensação que, por um lado nos conduz ao aspeto da novidade e, por outro lado acompanha-nos num estado no qual coexiste um saber que se altera sob um ritmo alucinante. No campo teórico, a utilização dos meios digitais nas artes promove temas de investigação e de reflexão sobre novos paradigmas estéticos e de poéticas, que se relacionam com as recentes formas de fazer e fruir.

Neste contexto, e como referimos na introdução, os meios digitais podem ser observados segundo duas perspetivas distintas: assumindo-se como um *medium* de expressão artística, como uma matéria plástica que se apresenta no processo de fruição; ou como uma solução tecnológica para o artista, consistindo em instrumentos e em ferramentas digitais que estão disponíveis como alternativa aos processos técnicos tradicionais analógicos.

Como exemplo, podemos indicar alguns autores contemporâneos de referência: Lev Manovich, Charlie Gere, Frank Popper, Guy Debord, Dennis Dollens, Paul Fishwick, Claudia Giannetti, Oliver Grau, Martin Lister, Bragança de Miranda e Christiane Paul, que abordam estas diversas problemáticas nas áreas do estudo teórico e do estudo tecnológico das artes plásticas e das artes digitais.

No âmbito das tecnologias digitais, mais concretamente nas áreas da escultura, os diversos dispositivos que assumem mais significado distribuem-se por diferentes

³ State of the Art – (Estado da Arte).

Este termo é aplicado para indicar as referências atuais mais significativas que se observam no desenvolvimento de uma área científica e/ou de soluções “tecnológicas de ponta.”

processos metodológicos. Estes instrumentos permitem operar ao nível da aquisição de dados volumétricos em 3D, ao nível da modelação e tratamento dos dados e, por fim, ao nível das possíveis aplicabilidades de um modelo 3D.

Deste modo, podemos indicar os recentes desenvolvimentos nas áreas da digitalização 3D, na fotogrametria, nos *softwares* de modelação de 3D CAD, nos aplicativos de realidades híbridas e nos processos de manufatura aditiva. Como iremos analisar os diversos aspetos destes dispositivos na 3ª parte desta investigação, não consideramos necessário enunciar exaustivamente as diferentes soluções disponíveis, na presente fase.

De modo a concluirmos os aspetos referentes ao estado da arte dos meios digitais no âmbito destas temáticas, resta-nos referir que esta realidade já se assume de grande significado na aplicabilidade no ensino e na aprendizagem das artes plásticas. Assim, estes meios conjugam alternativas pertinentes para os diferentes ciclos de estudo da escultura, revelando novas soluções para esta área e para o campo profissional do escultor.

1.2.

Sociedade e Cultura Digital

A sociedade contemporânea assume uma profunda dependência em relação à tecnologia. De certo modo, esta dependência consiste no principal denominador comum das estruturas sociais dos nossos dias. Presentemente seria absurdo imaginarmos o funcionamento das áreas da sociedade sem observarmos a “aliança” tecnológica que o Homem foi criando ao longo da sua história, culminando num fenómeno que nos leva a recordar a narrativa da obra de Huxley.⁴

⁴ Aldus Huxley publicou em 1932 o romance de ficção-científica «Admirável Mundo Novo», consistindo numa fantástica parábola que aborda a temática da desumanização dos seres humanos. Nesta negra utopia, o Homem torna-se escravo das suas invenções – a ciência, a tecnologia e a organização social.

Vivemos num admirável mundo novo, de certa forma agrilhoados a uma dependência cega pelo aparato tecnológico que vai estendendo os nossos limites e as nossas capacidades para além do imaginável.

Como a protagonista da obra *Alice no País das Maravilhas*⁵ deambulamos num mundo repleto de ambientes fantásticos que promovem, sem olhar a meios, as mais variadas realidades simuladas.

Contrariamente ao passado, o conceito de futuro apresenta-se de uma forma volátil e instável, sofrendo constantes transformações, atualizações e, simultaneamente, assumindo um profundo processo de perda de identidade. A noção de novidade é rapidamente substituída por um sentimento que nos arroja para um “pretérito presente”, em que o juízo de futuro deixa de fazer sentido.

Já não conseguimos acompanhar o ritmo da transformação e da novidade, perdendo assim um período que é necessário para habituação e a compreensão do presente.

Inclusive, há quem julgue que vivemos numa utopia plena, maravilhosa e sem qualquer tipo de mácula, em que os nossos caprichos e necessidades são prontamente saciados pela tecnologia, levando-nos a uma sensação de comodismo imediato que assegura uma estabilidade social.

Outros remetem esta realidade para uma angustiante distopia, em que todos os nossos atos são controlados e observados, gerando uma teoria da conspiração que arruína qualquer esperança no prodígio tecnológico e na vida social.

Mesmo assim, indiferentemente das idiossincrasias das posturas que podemos tomar, a relação que desenvolvemos com a tecnologia assume realidades que nos caracterizam como indivíduos que partilham realidades e preocupações comuns. Esta

⁵ *Alice's Adventures in Wonderland* foi publicado em 1865 por Charles Lutwidge Dodgson, sob o pseudónimo de Lewis Carroll. Esta obra relata as aventuras de uma criança num mundo feérico repleto de criaturas e ambientes fantásticos.

relação permite a criação de aspetos que caracterizam uma verdade em que o Digital adquire um significado predominante na nossa sociedade, arrogando-se como um elemento tautológico para as diversas manifestações culturais contemporâneas (Gere, 2008).

Deste modo, Gere acrescenta que a cultura contemporânea – a cultura digital – é caracterizada por um sentimento que resulta das rápidas e das sucessivas transformações da evolução tecnológica dos meios digitais. Inclusive, refere que são as transformações e as próteses tecnológicas que permitem ao ser humano alterar a sua realidade e o ambiente que o rodeia, permitindo-lhe um legado cultural que advém desde as primeiras utilizações de instrumentos do período do paleolítico.

«É esta capacidade que, isoladamente, distingue a inteligência do animal humano das outras espécies, menos inteligentes, que partilham o mesmo mundo. O ser humano só o é por ser técnico. A tecnologia não é um produto dos seres humanos. É a condição prévia da sua existência. Foi a tecnologia que permitiu ao ser humano ser inteligente, ou pelo menos considerar-se como tal. Aparentemente, foi também a tecnologia que permitiu a potencialidade de o conduzir à beira da sua própria aniquilação, através da guerra nuclear ou do aquecimento global (...)»⁶.

(tradução nossa).

Neste contexto, são os meios digitais que permitem a difusão da nossa cultura. É através deles que partilhamos o saber, as novidades, as nossas intenções, as nossas alegrias e os nossos medos. Com a *internet*, com os *smartphones* e com os *tablets* podemos aceder a inúmeros conteúdos, gerir a conta bancária, operar aparelhos

⁶ «It is this capacity alone that distinguishes the clever, human animals from the other, less clever, species that share the same world. The human is only human in so far as it is technical. Technology is not a product of human beings. It is a precondition of their existence. It is technology that has enabled humans to be clever, or at least to think of themselves as such. It is also technology that appears to have brought them potentially to the brink of their own annihilation, whether through nuclear war or global warming (...)».

(Gere, 2008: 8).

domésticos à distância. Podemos ainda fotografar e filmar qualquer assunto, podemos desenhar, pintar e modelar em qualquer lugar.

Se o desejarmos, podemos ainda colocar estes resultados nas redes sociais, permitindo a sua visualização em qualquer ponto do nosso planeta. De certo modo, através destas tecnologias temos o mundo nas mãos.

A revolução digital possibilitou a democratização dos meios de comunicação e dos conteúdos difundidos. A cultura nunca foi acedida deste modo universal na história da humanidade. Atualmente, na área das artes podemos rapidamente e facilmente aceder às últimas novidades.

Além destes aspetos, os meios digitais permitem uma metodologia de trabalho cultural que assenta na partilha de informação. Hoje podemos utilizar referentes digitais nos diversos campos da atividade profissional e na área do ensino, transformando e adaptando as suas características de acordo com as nossas exigências.

Este aspeto revela problemas de autoria, problemas relativos à originalidade de uma obra, assim como os aspetos referentes à sua reprodutibilidade e, de acordo com Walter Benjamin, da perda da «aura» do objeto artístico. No entanto, não se avista qualquer retrocesso. Estas características são mandamentos da cultura digital e temos que aprender a conviver com esta realidade.

Porém, estes aspetos têm uma face oposta. Como consequência, a nossa cultura assenta numa “ditadura” tecnológica que revela dois aspetos determinantes na sociedade contemporânea. Por um lado, corremos o risco da implantação de uma iliteracia mediática a grande escala. Os menos desfavorecidos dificilmente poderão ter acesso a esta panóplia de tecnologias. Deste modo criam-se comunidades marginais que não têm forma de usufruir da cultura. Na verdade esta realidade esteve sempre presente na nossa história, mas desencadeava-se a um ritmo lento, o que não corresponde à atualidade.

Por outro lado, a sociedade e a cultura digital dependem de sistemas tecnológicos que a qualquer momento podem colapsar. Gere (*Op. Cit.*) relembra a crise gerada pelo *bug* do milénio, o Y2K *bug*. Como é sabido, esta falha técnica poderia gerar um cenário apocalíptico ao inviabilizar os sistemas informáticos aplicados aos diversos ramos da nossa sociedade.

As consequências seriam catastróficas, dando lugar ao aparecimento de arautos da desgraça e do fim do mundo. Como constatámos esta realidade não aconteceu, mas serviu como aviso para os mercados capitalistas de grande escala e para as instâncias políticas da nossa aldeia global.

Manovich (2013) aponta a importância e o perigo que este poder burguês detém sobre a tecnociência. As grandes empresas de comunicação e de informação utilizam-se deste aspeto para gerirem os conteúdos que divulgam, dando lugar a manipulações que têm como objetivo formatar saberes e vontades. Em 1967 Guy Debord, numa perspetiva Marxista, publicava a obra *A Sociedade do Espetáculo* (Debord, 1991), referindo precisamente a responsabilidade que as forças económicas tinham sobre a debilidade espiritual da sociedade.

Como referimos, a cultura digital assenta sobre dois grandes paradigmas paradoxais que, como se torna comum na estrutura das diversas sociedades, contribuem de igual forma para as suas manifestações culturais em geral, e para as manifestações artísticas em particular: a utopia, como forma de realidade pacífica, que acata a ilusão de um mundo perfeito, e a distopia, que é transmitida por grupos que não encontram consolo na realidade em que vivem. Como podemos depreender, estes são dois temas de referência que os artistas digitais exploram.

No entanto, e no âmbito desta investigação, consideramos pertinente clarificar o significado da palavra digital, uma vez que é utilizada na totalidade da estrutura deste texto. Assim, a palavra digital encontra-se aplicada à sociedade, à cultura, às artes, à escultura, à estética, aos meios tecnológicos, ao *medium* de expressão, aos instrumentos e ferramentas, e, por exemplo, ao ensino. Como referimos, este termo é de tal modo

ubíquo que se assume como uma tautologia da nossa cultura, colocando de parte uma presença que se manifesta sob a forma de uma moda passageira.

Segundo uma perspectiva técnica, a palavra digital refere-se a uma forma de linguagem utilizada para armazenar informação através de sistemas informáticos. Esta informação pode ser aplicada em dados numéricos e/ou linguísticos para a sua transmissão, processamento ou armazenamento de sinais digitais sob forma binária.

Assim, podemos considerar a tecnologia digital como um conjunto de sistemas que, na sua essência, manipula e armazena dados através de zeros (0) e uns (1) e que podem ser aplicados em diversas soluções (e.g. telecomunicações, tratamento de imagem, sistemas de CAD e de CAM, sistemas áudio e, entre muitos outros, processadores de texto).

Em contraste, a informação pode ser tratada e arquivada de modo analógico, consistindo, assim, na forma tradicional que observámos no decorrer da história da humanidade. Como é sabido, os processos tradicionais analógicos recorrem a ferramentas físicas que traduzem os seus registos através de um *medium* material (e.g. lápis de carvão, tinta, imprensa mecânica, pedra, madeira, metal, fita magnética e papel).

Por um lado podemos distinguir estes dois processos através das especificidades dos seus suportes de arquivo e de tratamento. Por outro lado, esta distinção pode ser feita sob os aspetos operativos que cada um disponibiliza. Os meios digitais imprimem novos paradigmas aos atos de fazer e aos processos de criação, assumindo novas formas de saber que são indispensáveis à nossa cultura. Aliás, a máquina assume a sua condição social antes de se tornar numa solução tecnológica.

Neste contexto, a palavra digital pode ser observada de acordo com outro ponto de vista. Além de constituir-se como um sinónimo discreto, puramente técnico, como um sistema de tratamento e armazenamento de dados, o digital refere-se também a um fenómeno cultural que permite inúmeras experiências na sociedade contemporânea.

Através destes meios tecnológicos, o ser humano desenvolve novas formas de pensar e agir ao nível da abstração, da codificação, da simulação e da virtualização (Gere, *Op. Cit.*). Com o recurso às realidades híbridas, à computação gráfica, à televisão digital, às aplicações multimédia, à internet e às telecomunicações digitais, a sociedade contemporânea, e a cultura digital, assiste a um feitiço que a envolve totalmente, dando lugar a comportamentos que lhe são característicos.

Este tipo de cultura tem as suas origens nas exigências do capitalismo moderno, que se desenvolveu com a revolução industrial nos finais do século XIX. As estruturas laborais impostas implicaram novas soluções de modo a criarem uma produção eficiente através da divisão e da especialização do tecido operário.

Por um lado, as experiências tecnológicas desenvolvidas para o trabalho fabril desta época consistiram na génese da revolução digital. As soluções encontradas para diversos dispositivos tecnológicos (e.g. máquina de escrever Remington, os teares de Jacquard e as máquinas analíticas de Charles Babbage) são consideradas como pioneiras no campo da computação de dados.

Por outro lado, o desenvolvimento das tecnologias digitais deve-se aos avanços exponenciais que se observaram durante a 2ª Guerra Mundial e no período pós-guerra – a Guerra Fria. Em meados dos anos 50 as tecnologias informáticas sofreram um processo evolutivo que se traduziu na configuração de muitas soluções digitais que se aplicam nos dias de hoje.

Além dos trabalhos paradigmáticos de Alan Turing, desenvolvidos durante a 2ª Grande Guerra, o cenário tecnológico da Guerra Fria deu origem a estudos referentes a novas temáticas como, por exemplo, a Cibernética, as Teorias de Informação, a Biologia Molecular, a Inteligência Artificial e ao Estruturalismo. Decorrentes de diferentes áreas e contextos, estes temas permitiram o desenvolvimento do pensamento científico e tecnológico deste período.

Nos anos 60 surgiram ainda os estudos para a implementação de sistemas de transmissão de dados através de redes de telecomunicação. Estes sistemas consistiam em protocolos de comunicação que permitiam a permuta de pacotes de informação. Como exemplos significativos deste tipo de tecnologia podemos referir o Mark I e o ARPANET, que possibilitaram o desenvolvimento da atual *internet*.

Neste contexto, uma das áreas das tecnologias informáticas que encontraram o seu desenvolvimento foi a da computação gráfica. Embora consistissem em ensaios primários, foi nesta época que se deram os primeiros passos na interação entre o utilizador e o computador através de *interfaces* gráficos. Como consequência foram aparecendo soluções relativas à representação de elementos gráficos num ecrã, de modo a possibilitarem a operacionalidade de diversas tarefas.

Deste modo, estava lançada a estrutura para a lógica operativa da utilização do computador pessoal, como é conhecida nos dias de hoje. Paralelamente aos sistemas de desenho assistido por computador (CAD) surgiam as primeiras explorações no âmbito da realidade virtual e da realidade aumentada.

O desenvolvimento dos sistemas de representação gráfica em tempo real e das redes digitais de comunicação contribui ativamente para o progresso tecnológico a que se assiste na cultura digital. A reunião destas duas soluções consiste na base de transmissão das diversas formas de expressão da nossa sociedade; uma vez que possibilitam a difusão de informação sob a forma de imagens, de gráficos, de áudio e de texto entre diversos utilizadores que se encontram fisicamente distantes entre si.

As origens dos processos tecnológicos referentes à criação dos programas de CAD estão diretamente ligadas à instabilidade criada nos cenários políticos do período da Guerra Fria.

Como é sabido, a Segunda Guerra Mundial serviu de catalisador para o desenvolvimento de diversos dispositivos de processamento de dados – antecessores do computador moderno – de modo a suprir eficazmente, e rapidamente, as exigências

impostas pelos sistemas de codificação e decodificação de mensagens das forças inimigas e aliadas.⁷

No entanto, é durante o período da Guerra Fria que se criam as condições para o desenvolvimento das tecnologias de computação ao serviço dos governos e da indústria militar de ambas as partes.

«A Segunda Guerra Mundial serviu de catalisador tanto para a invenção do computador moderno, como para o desenvolvimento das várias referências acima descritas. Mas a pressão do pós-guerra explica como a tecnologia como os discursos foram moldados, argumentados e desenvolvidos. As tensões políticas internacionais provocaram um conjunto de problemas para os quais o conhecimento computacional, como a Cibernética, trouxe soluções potenciais. Por muito que o Capitalismo dos séculos IXX e XX tenha oferecido o contexto perfeito para o surgimento do computador moderno, a Guerra Fria terá sido a grande responsável pelo seu desenvolvimento e pela forma como foi utilizado. A forma como utilizamos e pensamos o computador, enquanto dispositivo de comunicação, mais do que uma mera calculadora complexa, é o resultado destes desenvolvimentos da Guerra Fria».⁸

(tradução nossa).

⁷ Alan Turing (1912 – 1954) é considerado um dos principais pioneiros na introdução e desenvolvimento de dispositivos mecânicos para a realização de cálculos aplicados ao estudo da criptografia, permitindo desta forma, o rápido processamento de inúmeras soluções de decodificação. Estes dispositivos têm grande pertinência na história da computação devido ao facto de terem servido como plataforma de desenvolvimento para a conceção de aparelhos de armazenamento e processamento de informação de forma eletrónica.

⁸ «The Second World War that had presented the catalyst for both the invention of the modern computer and for the development of the various discourses described above. But the pressures of the post-war era presented the context in which both the technology and the discourses were shaped, sustained and developed. International political tensions presented a set of problems for which computing and cognate ideas such as Cybernetics offered potential solutions. Much as nineteenth - and early - twentieth-century capitalism offered the framework for the invention of the modern computer, the Cold War was largely responsible for how it developed and how it was used. The way in which we use and think about computers, as media and communications devices, rather than simply complex calculators, is a result of these Cold War developments».

(Gere, 63; 2008).

Os computadores tornaram-se assim cruciais para a implementação de programas sob a doutrina do *Mutually Assured Destruction* – conhecido pelo acrónimo MAD, – desenvolvidos pelos Estados Unidos da América com o objetivo de monitorizar a ameaça nuclear.

Partindo de um princípio de controlo preventivo de ambas as partes, pretendia-se então estabelecer um processo que permitisse a observação de ofensivas com a antecedência necessária para realizar um contra-ataque. Ao abrigo deste quadro paradoxal foram desenvolvidos sistemas de simulação de cenários que permitiam a planificação de meios a aplicar em situações reais.

Gere (2008) refere a importância da aplicação dos princípios da ciência cibernética neste contexto, uma vez que permitia a criação de sistemas automatizados nas áreas militares e possibilitando a integração do homem e da máquina, de modo a criar métodos mais eficazes e fiáveis em cenários de guerra. Deste modo, descartando a presença e a vontade humana na tomada de decisões cruciais em situações apocalípticas, as tecnologias informáticas foram gradualmente introduzidas na indústria militar.

Assim, os projetos militares pioneiros desenvolvidos para estes fins consistiram no Whirlwind e no SAGE. Estes sistemas permitiam o controlo e o planeamento do espaço territorial estratégico, baseando-se em processos de manipulação interativa de informação acedida sob diversas formas.

Estes projetos foram determinantes na criação das estruturas tecnológicas e conceituais referentes aos meios digitais contemporâneos. Deste modo, a indústria militar “exigiu” o desenvolvimento das tecnologias que se empregam na computação gráfica, nos ecrãs, nos sistemas de simulação, na comunicação de informação em rede, nos processos de transformação de dados analógicos em dados digitais – e no sentido inverso – e nos sistemas de multiprocessamento.

Assim, os projetos Whirlwind e SAGE tiveram ainda um papel de significativa relevância no desenvolvimento dos processos de computação em tempo real, permitindo

respostas imediatas às informações recebidas. Estes sistemas de processamento destacavam-se dos tradicionais métodos de tratamento de dados que eram realizados através de cartões perfurados, consistindo numa solução desenvolvida nos finais do século XIX.

Neste âmbito, não poderíamos deixar de referir os trabalhos desenvolvidos pelo norte-americano Ivan Sutherland. Este cientista empregou tecnologias que agregavam dispositivos de raios catódicos e dispositivos periféricos de introdução e de edição de dados (i.e. canetas de luz) na área do desenvolvimento da computação em tempo real. Sutherland desenvolveu em 1962 a aplicação Sketchpad, que consistia num sistema que permitia ao utilizador representar graficamente diversas formas.

Posteriormente, as representações permitiam ser editadas em tempo real de modo a alterar-se as configurações das suas estruturas morfológicas. Este processo era possível através do arquivo da informação das imagens na memória do computador. Deste modo, através do seu Sketchpad, Sutherland introduziu os processos de tratamento de uma imagem através de algoritmos matemáticos.

Assim, a tecnologia da computação gráfica permitiu encarar o computador como um *medium* de visualização e de representação, alargando os horizontes dos conceitos de imagem e de objeto virtual que atualmente se encontram ao dispor dos meios digitais (Gere, *Op. Cit.*). Neste âmbito, resta-nos referir os trabalhos desenvolvidos por Douglas Engelbart na área da *multimedia* e *hipermedia*.

Engelbart associou a visão premonitória de Vannevar Bush com a ideia de encarar o computador como um instrumento de visualização. Resumidamente, o artigo de Bush⁹ propunha uma solução para resolver as exigências referentes a um dispositivo que permitisse o tratamento e aplicação de dados. O Memex consistiu neste projeto teórico futurista, permitindo a introdução de texto, de imagens e de notas que seriam arquivados sobre um micro filme através de um dispositivo ótico sob a forma de um capacete (Head-mounted display) (Gere, *idem*).

⁹ Vannevar Bush, (1945). «As We may Think». in The Atlantic Monthly.

Assim, através do Memex, Bush levantava a hipótese para a criação de um dispositivo que permitia trabalhar com a informação, arquivada sobre diferentes formatos (i.e. texto e imagem), de modo a articular as alterações dos dados e permitir a sua ligação.

Deste modo estão criadas as condições para o desenvolvimento do conceito da associação de dados indexados, empregues nos atuais sistemas de *multimedia* e de *hipermedia*. Além de Engelbart, nomes como os de Theodor Nelson e de Alan Kay contribuíram para o desenvolvimento destes sistemas.

▪ **Redes Sociais e Artes Plásticas**

No âmbito desta investigação consideramos pertinente abordar a temática das redes sociais digitais como forma de divulgação e de partilha da cultura digital. Como observámos, os diversos meios tecnológicos da nossa sociedade servem o propósito da partilha de informação.

Através das redes digitais o indivíduo social permite-se agregar a inúmeros grupos da esfera da sua cultura. Deste modo, velado de uma certa identidade pode ensaiar discursos e opiniões de forma a depreender as consequências destes atos. A cibercultura promove uma desresponsabilização do sujeito, permitindo avatares virtuais que não consideram as regras sociais tradicionalmente pretendidas.

É recorrente observarmos opiniões anónimas que dificilmente seriam proferidas por um indivíduo identificado. No entanto, esta realidade permite uma liberdade de expressão de um modo inédito na nossa história. Através das redes sociais democratiza-se a mensagem, quer ao nível da política, quer ao nível do espetáculo, criando um jogo de responsabilização contínuo por parte das instituições governamentais, económicas e culturais.

Deste modo o poder institucional é constantemente avaliado, desdobrando-se em sucessivas explicações para atitudes negativas. O povo ganha assim um meio de expressão global, detendo uma forma de poder que subtilmente ecoa nas instâncias que o governa. Através das redes sociais permite-se ouvir a vontade, a crítica e o futuro de uma sociedade. Porém, esta forma de expressão pode ser silenciada rapidamente através de ciberditaduras que detêm o monopólio das tecnologias digitais.

Com as redes sociais surge, assim, uma forma de propaganda particular, permitindo um processo imediato de divulgação global de qualquer tipo de temática, de negócio ou de opinião. Atualmente assistimos a um vício comunicacional que tem como objetivo a promoção de vivências virtuais, permitindo a quebra de barreiras físicas e geográficas que, de outro modo, seriam impossíveis de ultrapassar.

Assim, com as idiossincrasias da sociedade e da cultura digital a democratização da opinião tornou-se pandémica. Atualmente, a crítica e a opinião tornaram-se imediatas. O acontecimento carece de um período de repouso e de reflexão mas com a rapidez da informação assume uma cronologia planar com a sua divulgação e crítica em tempo real. Nos dias de hoje, as redes sociais, e os seus derivados, atingem qualquer destinatário em segundos.

A novidade perde a sua característica de anunciação aguardada, ganhando contornos de notícia ultrapassada. Deste modo, a profetização social torna-se numa realidade gratuita, criando redes paralelas de informação que competem com os meios tradicionais de divulgação.

As redes sociais consubstanciam-se como arautos contemporâneos, enformando processos alternativos de opinião que permitem uma atitude de confissão e de redenção em tempo real; o anúncio é imediato, independentemente do conteúdo e do seu cariz.

Usamos as redes sociais para divulgar qualquer tipo de acontecimento do nosso dia-a-dia. A morte dum ente querido, de um animal de estimação, o relembrar do aniversário de um familiar, a dor ou alegria, o evocar momentos significativos da nossa

vida social – são exemplos deste livro de tarefas que nos estimula a uma constante salvação característica da nossa sociedade e cultura.

Por um lado, nas redes sociais tudo se vende e se compra; a desculpa, ou afirmação, passa assim a ser aceite num ambiente etéreo, descartado de processos de responsabilidade da vida social tradicional. Por outro lado, podemos recrutar e analisar competências estruturando valores que têm como base um discurso nublado de um diário gráfico, fotográfico e de gostos sociais, descartando, ou complementando, qualidades várias.

Através das redes sociais podemos declarar guerra ao regime, à religião e aos costumes; podemos recrutar indivíduos para a nossa querela, criando um exército virtual que tem como função cimentar os nossos propósitos, ocupando fronteiras cujas linhas de limitação deixam de ter presença geográfica.

A primeira rede social – classmates.com – foi criada no ano de 1995 nos Estados Unidos da América, com o intuito de integrar e procurar pessoas pertencentes às mesmas turmas dos diferentes níveis de ensino, criando, assim, um grupo com um denominador comum a milhares de utilizadores.

No entanto, a grande disseminação deste tipo de estrutura de ligação em rede ocorre nos primeiros anos do século XXI, permitindo, gradualmente, o aparecimento exponencial de diferentes formatos e intenções que resultam num fenómeno viral mundial que não pode, nem deve, ser remetido para segundo plano na realidade da nossa cultura contemporânea.

Na esfera das artes promovem-se aptidões e obras que, por vezes, não passam de ideias ou intenções. A legitimação arroga um público pré-definido, permitindo famas etéreas que rapidamente se desvanecem.

Porém, não podemos deixar de encarar estes meios tecnológicos como uma forma significativa para a divulgação artística. As redes sociais não consistem apenas

nos aplicativos de uso generalizado (e.g. Facebook, Instagram e Pinterest). Através das redes digitais assistimos ao fenómeno da introdução de novos paradigmas nas áreas do fazer artístico, assim como nas formas de divulgação (Greene, 2004).

De certo modo, a *internet* resgatou a participação pública para os domínios da arte contemporânea. Através da desmaterialização do espaço físico, a rede digital consubstanciou-se como palco de eleição para os discursos artístico de uma nova forma de arte: a *net.art*. A *net.art* consiste numa das primeiras soluções da arte digital, uma vez que permitiu democratizar o produção e a divulgação artística. Deste modo, este tipo de expressão legitimou a vontade das vanguardas que operaram durante a segunda metade do século passado: a criação de comunidades de produtores de *media* (Brea, 2002).

Este autor refere ainda que, através do desenvolvimento destas soluções permitiu-se a implementação de esferas públicas autónomas e de dispositivos de interação social, capazes de induzir na sociedade modos de comunicação independentes dos interesses das indústrias mediáticas e das instâncias estatais.

Deste modo, as comunidades *web* partilham as suas produções expressivas através das redes sociais digitais, criando os seus próprios dispositivos de interação pública num âmbito independente e sem estruturas hierárquicas. É este domínio «postmedial» que aprova e que dissemina a estetização da sociedade que decorre da massificação da cultura mediática e da iconização exaustiva do mundo contemporâneo (Brea, *Op. Cit.*).

1.3.

Arte Digital

Presentemente, torna-se improvável empreender uma reflexão sobre a situação da problemática da arte contemporânea sem nos debruçarmos sobre a realidade dos novos meios e tecnologias do universo digital presentes nos processos de produção artística (Aneiros; 2006).

Os desenvolvimentos observados nos últimos anos relativos aos contextos da sociedade digital (e.g. as novas formas de acesso e partilha do conhecimento, a evolução tecnológica e o enquadramento social, entre outros) permitem observar uma realidade pertinente que se encontra aliada às práticas contemporâneas do âmbito das artes em geral e, em particular, às artes plásticas, que necessariamente requer uma constante atualização.

A emergência dos meios digitais no universo das diferentes esferas artísticas assumiu, nos anos 90 do século passado, um exponencial desenvolvimento que acabou por caracterizar o aparecimento de novas soluções e correntes nos âmbitos formal, estrutural, programático, estético e tecnológico.

Herdeira de um vasto legado, a esfera digital assume uma forte autonomia nos finais do século XX através do rápido desenvolvimento dos diversos *softwares* e *hardwares* específicos para o tratamento digital da imagem, do som e também da modelação de objetos.

A crescente disseminação da *internet* (através de larguras de banda consideráveis) permitiu à comunidade artística assistir à divulgação das transformações operadas no universo das artes plásticas, contribuindo para uma pertinente reflexão relativa aos papéis dos processos criativos, da perceção e da emergência de novas estéticas e poéticas.

▪ Antecedentes

Como observámos, as raízes dos meios e das tecnologias, aplicadas a esta forma de arte, surgiram no período que compreendeu a 2ª Grande Guerra e os cenários geopolíticos da Guerra Fria. Foi neste período que se desenvolveram os sistemas tecnológicos que, atualmente permitem assumir a arte digital como uma área autónoma das outras formas de arte.

No entanto, anteriormente a este período a história da arte moderna testemunhou propostas que iriam assumir referências de destaque nos discursos da arte digital. As raízes conceituais e estéticas deste tipo de arte remontam à segunda década do século passado, com o aparecimento dos artistas Dada na Europa (Paul, 2008; Tribe & Jana, 2007).

«Assim como o dadaísmo foi em parte uma reação à industrialização do armamento de guerra e à reprodução mecânica do texto e das imagens, a New Media Art pode ser vista como uma resposta à revolução da tecnologia da informação e à digitalização das formas culturais».

(Tribe & Jana, *Op. Cit.*: 8).

Como exemplos paradigmáticos da origem da arte digital podemos ainda indicar os trabalhos de *ready-made* de Marcel Duchamp, as experiências do Grupo Fluxos, a Pop Art, o Minimalismo, a Arte Conceitual e a Performance, além das propostas e dos legados dadaístas.

Paul (*Op. Cit.*) refere que a importância das soluções artísticas destes grupos e movimentos reside na ênfase atribuída às instruções formais e na atenção dada aos aspetos do Conceito, Evento e Audiência Participativa, contrastando com a estruturação física e material do objeto artístico.

De acordo com os aspetos acima referidos, esta autora apresenta as soluções que decorrem do legado de algumas obras e de experiências paradigmáticas para o discurso da arte digital. Como exemplos refere os processos aplicados à criação dos poemas dadaísta, em que as variações aleatórias para a obtenção do léxico do texto (i.e. palavras e linhas) são geradas através de instruções formais.

As noções de interatividade e de virtualidade na arte foram exploradas por Duchamp e por László Moholy-Nagy nas tentativas da criação de relação com o objeto

e, também, através dos efeitos óticos da obra. Por outro lado, as esculturas cinéticas de luz, criadas por Moholy-Nagy, permitiram a noção de volumes virtuais e da desmaterialização da matéria.

Os trabalhos de Duchamp permitiram ainda a exploração da virtualidade do objeto ao substituir a matéria pelo conceito. Os *happenings* do Grupo Fluxos, constituído por músicos, artistas plásticos e *performers*, revelaram nos anos 60 uma nova forma de operar no fazer artístico, uma vez que implicava a execução de instruções precisas, previamente projetadas, de modo a criarem uma imersão e participação por parte da audiência.

Poderíamos referir outros autores e obras de destaque, como as de John Cage, que permitiram a base dos fundamentos da arte digital. No entanto, interessa salientar que todos estes exemplos não consistem em expressões digitais. Serviram para podermos encarar o computador como meio tecnológico no campo das artes, mais concretamente como meio de expressão visual (Gere, 2008).

Embora os anos 60, 70 e 80 tenham testemunhado sucessivas explorações artísticas através do uso dos computadores, só nos anos 90 é que se deu o grande desenvolvimento tecnológico que permitiu assumir a arte digital como um exemplo paradigmático na história das artes.

No entanto, interessa clarificar o conceito de arte digital. Como referimos, as suas origens podem ser encontradas no desenvolvimento tecnológico que se observou em meados do século XX. Mas, através da revolução digital observamos um fenómeno sem precedentes.

Até esta fase, os suportes para o arquivo das informações obedeciam a uma tipologia específica de materiais. Os dados podiam ser arquivados digitalmente no computador ou, em alternativa, em suportes analógicos de diferentes soluções (e.g. fitas de registo magnético, discos de vinil, papel e materiais fotossensíveis).

Deste modo, a criação de um produto que implicasse diferentes suportes tinha que ser realizada com a sobreposição de diferentes *media*. Como exemplo, podemos referir os trabalhos primários de paginação que implicavam a colagem física das imagens sobre as folhas que continham o texto. Posteriormente, estes protótipos seguiam para as gráficas de modo a serem impressas industrialmente.

Se pretendêssemos utilizar o som e a imagem (i.e. áudio e gráfico) recorríamos a um projetor de diapositivos (*slides*) que permitia sincronizar o som com o tempo de exposição da imagem.

Assim, até à revolução digital os dispositivos de *multimedia* conjugavam as informações sobre diferentes formatos de arquivo de modo a criarem a mensagem pretendida. As informações gráficas, de áudio e de texto eram assim independentes entre si.

A revolução digital permitiu arquivar as diversas informações sobre o mesmo suporte: o suporte digital. Deste modo estava criado o *medium* de eleição para trabalhar num único dispositivo (i.e. o computador). Esta realidade é estranha às novas gerações. O trabalho digital introduziu novas formas de abordagem para a realização de diferentes tarefas. Atualmente, recorrendo apenas a um computador ou a um *tablet* podemos facilmente conjugar diferentes configurações de informação. Uma aplicação *multimedia* pode conter dados de imagem, de áudio, de texto, de animação e de interação mas, o suporte é sempre digital.

Deste modo, e sob uma perspetiva técnica, podemos definir a arte digital como uma forma de expressão artística que apresenta uma mensagem digital sobre o mesmo meio tecnológico. Na verdade, as formas de arte criadas através de um computador não consistem, necessariamente numa obra digital.

Lev Manovich explora exaustivamente esta problemática na obra *The Language of New Media* (2001). Este autor debruça o seu estudo sobre diferentes perspetivas: por

um lado defende que o registo de um objeto físico sobre informação digital não basta para considerarmos este produto como uma obra digital.

Como exemplo, os dados que resultam da digitalização de uma fotografia (impressa sobre papel) não implicam que se obtenha uma fotografia digital. Resultam antes numa forma de arquivo de informação que pode ser posteriormente tratada e manipulada de modo a consistir numa forma de expressão digital.

Por outro lado, Manovich refere que uma obra digital resulta da aplicação de processos tecnológicos digitais, sobre o mesmo *medium*, de modo a transmitir a sua mensagem.

Deste modo, a identidade relativa aos *media* digitais pode ser resumida através de soluções que nos permitem identificar as características que os diferenciam dos menos recentes. Manovich (*Op. Cit.*) apresenta as seguintes diferenças:

- Representação Numérica;
- Modularidade;
- Automação;
- Variabilidade;
- Transcodificação.

Neste contexto, Lister *et al* (2009) acrescentam outra perspetiva para a clarificação das particularidades dos novos *media*, tendo em consideração os aspetos de produção, distribuição e aplicabilidade. Assim, estes autores apontam as seguintes características (e temas de especulação) para os aspetos tecnológicos dos meios digitais:

- Dados Digitais;
- Interatividade;
- Hipertextualidade;
- Virtualidade;
- Simulação;
- Informação em Rede.

Como iremos observar, estes aspetos contribuem para as características de uma obra digital em geral, e de uma escultura digital em particular. Na verdade, consistem na articulação tecnológica que permite as novas abordagens nas práticas e expressões artísticas contemporâneas.

Como observámos, a arte digital deve as suas origens aos desenvolvimentos científicos e tecnológicos que se desenrolaram no âmbito da computação. No entanto, não deve ser observada apenas de um ponto de vista técnico. Os meios digitais permitem outras abordagens que são específicas dos processos criativos, das metodologias projetuais e dos discursos plásticos.

Esta forma de arte partilha um *medium* de expressão que implica novas formas de pensar, de criar e de fazer, alterando paradigmas que estavam presentes nas artes desde o início da sua história. O rápido desenvolvimento dos meios digitais, desde a década dos anos 90, transformou o nosso panorama social e cultural de um modo inédito, contribuindo para diferentes formas de expressão da contemporaneidade.

- O Digital e a Produção de Arte Contemporânea

A introdução dos novos *media* no âmbito da arte contemporânea revelou novas alternativas de expressão. Assim, as propostas legadas pelos movimentos artísticos do modernismo serviram de impulso para o aparecimento de soluções que se desenvolveram em diferentes formas de arte.

Galvão (2008) acrescenta que o modernismo pretende assumir a crise da representação como forma de quebrar o paradigma mimético que, de um modo geral, caracterizou toda a tradição artística do ocidente. Deste modo, criam-se as condições necessárias para o aparecimento dos discursos de vanguarda, que aliados aos processos de reprodutibilidade técnica da obra plástica respondem às imposições capitalistas.

Neste contexto, a partir dos anos 60 podemos observar diversas manifestações artísticas sob a forma de Instalações, de *Media* e *Performance*, de *Vídeo Art*, *Computer Art* e, posteriormente, da Arte Digital (Rush, 2005).

Assim, os meios digitais revolucionaram as realidades de outras áreas de expressão artística como, por exemplo, a pintura, a escultura, a fotografia, a arquitetura, a música e o cinema.

No entanto, estes meios implicaram uma autonomia relativa a estas áreas, consubstanciando um nova forma de expressão. A arte digital, assumindo diferentes denominações – por vezes controversas – como *New Media Art*, *Cyber Art*, *Computer Art*, *Virtual Art* ou *Arte Multimedia*, resulta da interseção de dois aspetos dominantes (Paul, 2008).

Por um lado, a arte digital deve ser observada como uma forma de expressão que utiliza um *medium*¹⁰ digital. Por outro lado, as tecnologias digitais podem servir como instrumento, como ferramenta para a criação da obra. No capítulo seguinte da nossa

¹⁰ *Medium*: refere-se a uma forma específica de técnica artística ou à matéria utilizada nessa técnica, como meios de expressão.

investigação procuraremos explicitar melhor estas diferenças que, no entanto, se encontram interligadas.

Por fim, e de forma sucinta podemos indicar algumas áreas de expressão que se podem observar sob a forma de arte digital. São elas:

- Imagem Digital
- Escultura Digital
- *Software Art*
- *Net.art.*
- Realidade Virtual e Realidade Aumentada
- Som e Música

CAPÍTULO 2.

ESCULTURA DIGITAL CONTEMPORÂNEA

*«Everything that can be digital,
will be!»*

Craig Kanarick e Jeff Dachis¹¹

A escultura digital ramifica em diferentes soluções de índole plástica e estética, que conduzem à conjugação do universo digital segundo duas perspectivas de relevo: por um lado, o digital pode ser observado como um meio artístico – constituindo-se como um *medium* autónomo, – por outro lado, o digital pode ser entendido como um instrumento tecnológico artístico, aplicado nos diferentes processos de projeto e de criação de uma escultura digital.

Assim, a aplicabilidade dos meios digitais permite salientar novos paradigmas na abordagem da prática escultórica. Como iremos observar nesta investigação, estes meios tecnológicos introduzem aspetos que, por um lado, encontram-se relacionados com a imaterialidade escultórica, com a interatividade, com a virtualidade e com a representação e visualização.

¹¹ Craig Kanarick e Jeff Dachis fundaram a empresa de renome internacional Razorfish em meados dos anos 90. Esta agência produz soluções digitais para os diversos ramos do comércio (e.g. páginas web, aplicações interativas, campanhas publicitárias, net.art e arte digital). A Razorfish foi criada com a intenção de criar «soluções para problemas difíceis» e têm como máxima a frase *«Everything that can be digital, will be!»* (Tudo o que puder ser digital, será!), tornando-se num conceito de referência no universo dos meios digitais.

Por outro lado, poderemos observar as características dos diversos *softwares* e *hardwares*, ao nível das suas operacionalidades, das suas funcionalidades e das suas aplicabilidades.

2.1.

Percursos da Escultura Digital

As origens das diferentes aplicações dos meios digitais ao universo da escultura remontam ao início do período da Guerra Fria. Paralelamente ao desenvolvimento de aplicações computacionais de cálculo algorítmico e de simulações, desenvolveram-se processos de representação gráfica de matrizes bidimensionais e tridimensionais.

O desenvolvimento tecnológico dos *softwares* de CAD (*Computer-Assisted Design*) e de CAM (*Computer-Assisted Manufacturing*), utilizados nos ramos da arquitetura, das indústrias militares, aeroespaciais e automóvel, foram absorvidos gradualmente pelas comunidades artísticas, acabando por revelarem meios tecnológicos alternativos com grande aplicabilidade na escultura.

De um modo geral, os meios digitais eram utilizados nos processos de representação de desenhos técnicos para o desenvolvimento do projeto de escultura. Deste modo, o escultor podia empregar estes meios na representação das soluções alternativas do seu trabalho. Como podemos depreender, os sistemas de CAD serviam como instrumentos digitais de representação técnica, uma vez que não permitiam a visualização em tempo real de estruturas representadas em 3D (Wands, 2006).

Porém, disponibilizavam um processo de desenvolvimento projetual de grande eficiência, paralelamente às práticas executadas por arquitetos e por engenheiros na representação e no estudo formal de volumetrias.

No entanto, só a partir dos anos 90 do século passado é que pudemos observar um desenvolvimento exponencial das aplicações digitais na esfera das artes plásticas, quer ao nível do *software*, quer ao nível do *hardware*. É neste período que assistimos a uma alteração significativa da utilização dos meios digitais para os processos de criação de objetos artísticos.

Estes meios, além de se disponibilizarem como instrumentos de trabalho, assumiram-se como um processo tecnológico que transformou a realidade da escultura. Assim, surgiram denominações que adotaram diferentes rótulos.

As designações de escultura computadorizada, info-escultura, escultura numérica, *cyber*-escultura e escultura virtual, são utilizadas na referência ao universo da escultura digital ou, numa linguagem mais técnica, ao acrónimo CAS.¹²

As primeiras explorações destes meios começaram por surgir ao nível da utilização dos *softwares* de 3D CAD para a representação e para a modelação digital. Através deste tipo de aplicações surgiram novos meios de exploração formal que, durante o processo concetual, permitiram a construção e a visualização de modelos 3D em tempo real (Wands, *Op. Cit.*).

Com estes meios, surge a possibilidade de simularmos diferentes soluções, em que deixam de existir os constrangimentos inerentes a alguns aspetos da prática escultórica como, por exemplo, os problemas de escala, de material, de resistências, de peso e de gravidade.

Atualmente, o desenvolvimento das tecnologias de *hardware* participa numa forte disseminação dos processos e dos dispositivos de prototipagem rápida, permitindo a construção física material do modelo 3D projetado previamente.

¹² CAS – (*Computer-Assited Sculpture*).
Escultura Assistida por Computador.

2.2.

Como *Medium*

A distinção que procuramos explorar ao longo desta investigação coloca os meios digitais em dois polos distintos. Como observámos, a arte digital recorre a um *medium* caracteristicamente etéreo e imaterial: o digital. Deste modo, ao extrapolarmos esta realidade para o âmbito da escultura, depreendemos que a matéria escultórica é, necessariamente virtual ao empregarmos os meios digitais para a sua criação.

Assim, podemos depreender que nos deparamos com uma rutura na utilização dos materiais tangíveis dos processos tradicionais analógicos (i.e. físicos). Por outro lado, o espaço escultórico sofre igualmente transformações, passando de um estado material para um estado imaterial virtual.

Deste modo a escultura digital tem como característica principal uma realidade imaterial, uma realidade não tangível que, aparentemente, impede a sensação tátil. Porém, a imaterialidade escultórica provém de uma tecnologia digital que se assume como uma forma cultural, «capaz de absorver todas as formas de mediação anteriores» (Miranda, 1999: p. 308).

A mensagem da obra de arte está intrinsecamente ligada aos meios tecnológicos que se utilizam para a sua criação. Como Marshall McLuhan (1968) refere «o meio é a mensagem». Sob uma perspetiva cultural, este autor defende que os *media* consistem na extensão tecnológica do corpo, uma vez que determinam o processo de criação e o resultado da mensagem.

Assim, podemos depreender que os meios tecnológicos digitais assumem uma dimensão cultural nos processos da criação escultórica ao permitirem um conjunto de operações do âmbito cognitivo. Como iremos analisar, através destes meios o escultor pode empreender inúmeras soluções de estudo e de ensaio durante o processo concetual da criação da sua obra.

Através dos processos tecnológicos disponíveis pelos programas de 3D CAD de modelação cria-se um espaço virtual experimental que consiste num laboratório de escultura.

Manovich (2013) salienta que a linguagem aplicada aos meios de modelação 3D representam uma rutura com os métodos tradicionais analógicos de projeto gráfico pois, contrariamente aos programas de representação em 2D, assumem léxicos formais e operativos característicos dos *media* digitais. Assim, estes meios permitem novos processos para a representação dos aspetos da tridimensionalidade ao ampliar a capacidade de imaginação e de experimentação do utilizador.

Através destes meios digitais de representação em 3D criam-se metacognições espaciais e estruturais que possibilitam a criação de ambientes virtuais que enformam a operacionalidade do novo espaço escultórico.

Desta forma, podemos depreender que os valores do discurso plástico de uma escultura digital admitem particularidades específicas do *medium* empregue para a sua expressão. A escultura passa assim a compreender uma relação formal com o espaço, e com o espetador, segundo uma dimensão de potencialidade e, simultaneamente, de latência.

Esta relação resulta da interseção de distintos valores que caracterizam uma escultura digital. Por um lado, decorrendo das particularidades dos meios tecnológicos e do seu *medium* específico, esta forma de escultura implica a imaterialidade física. Por outro lado, a escultura digital é essencialmente virtual. Como iremos observar, a sua aplicação digital, o seu universo de ação é o espaço virtual. Como consequência, os meios utilizados para esta aplicabilidade consistem nos sistemas de realidades híbridas.

Por fim, as realidades híbridas implicam a imersão e a interatividade entre o sujeito e a obra, desencadeando sensações que se apresentam ao nível dos sentidos da visão, audição, tato e olfato. Assim, através dos meios tecnológicos digitais, e através da inter-relação das variáveis possíveis de aplicar ao processo criativo, a escultura digital

assume-se como uma forma de expressão autónoma de escultura. Ao introduzir novos paradigmas no âmbito do processo criativo, dos discursos plásticos, das poéticas artísticas e de novos valores estéticos a escultura digital representa uma expressão paradigmática na realidade da escultura contemporânea.

2.3.

Como Instrumento Tecnológico

Segundo uma perspetiva diferente, os meios digitais tecnológicos assumem-se como novos instrumentos no âmbito da arte digital. Além de mimetizarem o gesto e a função analógica, estas ferramentas digitais permitem um conjunto de operações incalculável.

Como referimos, o espaço virtual da representação em 3D toma o lugar do laboratório físico do escultor no processo de criação digital. É neste espaço operativo que decorre a fase técnica da conceção do objeto escultórico. Através dos *softwares* de 3D CAD o escultor tem a possibilidade de construir ou de modelar virtualmente a sua intenção.

No entanto, os instrumentos digitais permitem eleger diversos processos de criação, uma vez que não servem exclusivamente para resultados digitais. Assim, o escultor pode iniciar este processo através de um modelo físico que servirá de referente para a criação da sua escultura.

A informação dos aspetos volumétricos deste modelo será convertida em dados digitais de modo a se editarem a morfologia virtual obtida. Esta conversão pode ser realizada através das tecnologias de digitalização 3D ou através da construção do volume do referente com programas de 3D CAD. Assim, os dados morfológicos ficam arquivados em ficheiros 3D, permitindo futuras explorações. Como podemos observar este processo tem início com um referente físico que resultará num objeto digital.

Em alternativa, os dispositivos digitais permitem um processo essencialmente digital. Este sistema implica a criação e a modelação do referente com programas de 3D CAD ou através do processo descrito anteriormente. Assim, este método tem origem digital e o seu produto terá uma aplicabilidade igualmente digital.

Por fim, o escultor pode optar por criar o seu referente através da modelação 3D e, posteriormente, concretizar materialmente a sua obra. O método de materialização pode ser realizado através de instrumentos analógicos ou através dos meios tecnológicos de prototipagem rápida.

Estes processos descritos acima estão resumidos no diagrama da figura 1.1.

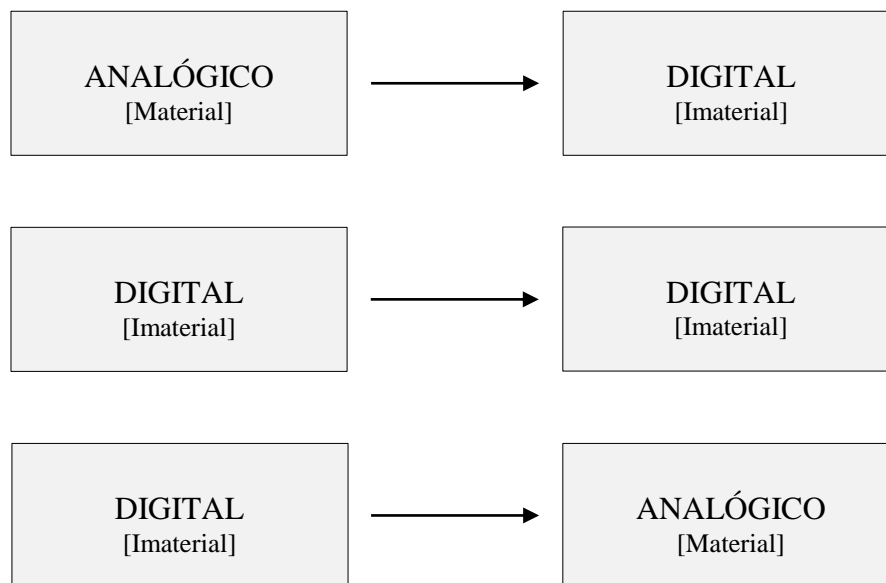


Fig. 1.1.

Na 3ª parte da nossa investigação iremos explorar detalhadamente as aplicabilidades e as funcionalidades dos meios digitais no âmbito da criação da escultura digital contemporânea.

PARTE III

CAPÍTULO 3.

TECNOLOGIAS E MEIOS DA ESCULTURA DIGITAL

Como pudemos observar, a introdução das diversas tecnologias informáticas no universo da Escultura apresenta-se como uma realidade significativa no atual panorama da Arte Contemporânea. Inclusive, podemos reconhecer que o seu uso enforma um importante legado, revelando experiências que se iniciaram a partir da segunda metade do século passado e, atualmente encontram uma significativa aceitação por parte da comunidade artística.

Assim, pretendemos analisar os processos tecnológicos digitais que se aplicam às metodologias dos estágios conceptuais da Escultura Digital. Ao longo deste capítulo procuraremos observar as diferentes aplicabilidades dos *hardwares* e *softwares*, discriminando as possíveis opções do “fazer” artístico que enformam esta prática.

Desta forma, e partindo de uma abordagem mais generalista, começaremos por apresentar uma metodologia que visa o processo de criação e de aplicação de uma escultura digital. Posteriormente, examinaremos detalhadamente os meios e tecnologias que enformam o universo da Escultura Assistida por Computador,¹³ dando relevo a duas áreas de destaque:

- Área profissional;
- Área do ensino.

¹³ CAS – (*Computer-Aided Sculpture*).

Os processos da Escultura Assistida por Computador referem-se aos meios tecnológicos, aos instrumentos técnicos e ao *medium* de expressão característicos da escultura digital.

3.1.

Processos e Tecnologias Digitais

A aplicabilidade das tecnologias digitais na área da escultura empreende metodologias que apresentam modos processuais com diferentes vertentes. Deste modo, o escultor pode optar por diferentes procedimentos para a realização de uma escultura digital. Através das diferentes soluções pode ensaiar resultados que se intercalam – e que se complementam – ao longo do desenvolvimento dos processos, concorrendo assim para diversos desfechos que assumem plásticas e discursos escultóricos característicos.

As tecnologias disponíveis para a escultura digital agrupam-se de acordo com as diferentes etapas conceituais do projeto artístico. Deste modo, o escultor terá de optar por meios tecnológicos específicos, considerando as necessidades exigidas em cada estágio.

Assim, podemos encontrar variados dispositivos referentes às tipologias e aos estádios de aplicações. Como exemplo, podemos indicar os seguintes: *scanners* 3D, dispositivos de fotogrametria, *softwares* de modelação 3D, *softwares* de renderização de imagens, impressoras 3D, máquinas CNC *milling*, ecrãs, dispositivos móveis e óculos de realidade virtual e de realidade aumentada.

Deste modo, procuraremos referenciar os mais utilizados na área da escultura digital, considerando as aplicabilidades específicas e características deste tipo de meios tecnológicos.

Porém, encontramos-nos perante uma realidade tecnológica que sofre rápidas transformações. Na verdade, o rápido desenvolvimento dos meios digitais implica um risco que lhes é característico: o *state of the art* da tecnologia digital rapidamente ficará obsoleto. Neste contexto, os procedimentos metodológicos empregues presentemente sofrerão transformações proporcionais.

A metodologia aplicada à realização de uma escultura digital segue um percurso que engloba três fases dominantes:

- Fase 1
Aquisição de dados paramétricos;
- Fase 2
Tratamento de dados;
- Fase 3
Aplicação de dados.

3.1.1.

Aquisição de Dados Paramétricos

De um modo geral, e considerando as possíveis aplicabilidades inerentes ao âmbito da temática desta investigação, o processo para a elaboração de uma escultura digital segue uma aplicação metodológica cujo objetivo inicial consiste na obtenção de um modelo digital 3D (Horvath, 2014; Evans, 2012). Este ficheiro irá conter as informações referentes aos parâmetros da volumetria, da escala e do material a empregar no modelo digital.

Os procedimentos para a aquisição dos dados paramétricos assentam em três alternativas tecnológicas dominantes:

- Digitalização da volumetria de um modelo real através de diferentes tipos de *scanners* 3D e/ou de dispositivos de fotogrametria;

- Construção e modelação da volumetria de um modelo real através de *softwares* de 3D CAD;
- Utilização de modelos 3D disponibilizados *on-line* em diversas Bases de Dados.

Os dados obtidos são arquivados em ficheiros digitais que são exportados para diversos tipos de programas de 3D CAD, permitindo, assim, o seu tratamento com o recurso a operações de refinamento, de modificação e de modelação.

3.1.2.

Tratamento de Dados Paramétricos

De um modo geral, o tratamento dos dados obtidos no primeiro estágio metodológico é realizado através de diferentes *softwares* de 3D CAD.¹⁴ Estes programas admitem a alteração dos diferentes parâmetros do modelo 3D adquirido, através dos métodos de modelação de uma morfologia virtual. Assim, a modelação 3D do objeto permite alterar os aspetos das suas volumetrias, das suas texturas, dos seus materiais e, por exemplo, das posições relativas aos elementos de referência espacial.

Nesta fase o escultor pode elaborar diferentes estudos, perspetivando alterações ao protótipo do modelo digital. Uma das particularidades do arquivo digital é, precisamente, a capacidade de modificações infinitas, permitindo em tempo real o descartar de soluções e variantes que deixam de ser pertinentes para o processo concetual da obtenção do objeto escultórico.

Este tipo de *software* 3D CAD apresenta uma tipologia variada que, de acordo com as operações pretendidas a efetuar no modelo digital, obriga a uma escolha específica, abrangendo, por vezes, mais do que um tipo de programa. Como iremos

¹⁴ *Software* de 3D CAD - (*Computer-Aided Design*).

Desenho Assistido por Computador. Consiste num programa de modelação e construção em 3D.

observar mais adiante, podemos encontrar *softwares* de reconstituição topológica, de engenharia inversa, de transformação de malhas e de modelação.

Quando esta fase do processo se encontra concluído, em que o modelo digital foi tratado de modo a corresponder aos requisitos pretendidos pelo escultor, pode então proceder-se à exportação do ficheiro 3D de acordo com as diferentes finalidades possíveis: por um lado, o modelo poderá ser aplicado num processo que implica a sua materialização – impressão 3D – ou, por outro, ter uma utilização de âmbito digital, consubstanciando-se, neste último caso, como um elemento virtual.

3.1.3.

Aplicação de Dados

Por fim, chegando ao terceiro estágio desta metodologia, as possíveis utilizações a dar ao modelo 3D ditam as alternativas a seguir. Deste modo, a aplicação digital do ficheiro 3D tem, como principal finalidade, a criação de uma obra escultórica – de cariz virtual – que, para o efeito, requer um tratamento específico que permitirá um processo de acabamento, tendo em vista uma “pós-produção” que confere, entre outros, os valores lumínicos de fotometria, de cor, de material e de ambientes envolventes.

Este processo implica, igualmente, a preparação do modelo 3D para a sua colocação em ambientes de realidade virtual ou de realidade aumentada. Observe-se que todas estas opções implicam a utilização de diferentes *softwares* específicos que abrangem vários processos: de renderização, de tratamento de imagem e de animação, assim como o uso de plataformas de desenvolvimento de ambientes virtuais interativos.

Note-se ainda que o arquivo digital constitui outro tipo de utilização a atribuir ao modelo 3D, permitindo a sua partilha em bases de dados com diversas aplicabilidades.

Como iremos observar, o campo da partilha de dados 3D encontra grande adesão no campo do ensino e da aprendizagem da Escultura, assim como nas comunidades DIY.¹⁵

Numa perspetiva diametralmente oposta, encontramos a materialização do modelo 3D como alternativa possível. Através das tecnologias de impressão 3D, podemos hoje em dia materializar – em diferentes tipos de material – os dados adquiridos e tratados ao longo do processo que vimos a descrever.

Existem atualmente diferentes tipos de tecnologias de impressão 3D. No entanto, agrupam-se todas no processo de construção aditiva, consistindo na sobreposição de camadas extremamente finas de diversos materiais, dando origem à forma pretendida. A impressão 3D faz parte dos processos de 3D CAM.¹⁶

Passando assim dos «*bits* aos átomos» (Barnatt, 2014), o escultor tem a possibilidade de tornar físico o objeto idealizado. A materialização do modelo 3D permite, deste modo, a realização de uma obra escultórica. A aplicação desta tecnologia observa os diversos processos inerentes à modelação e construção digital, detendo particularidades plásticas, estéticas e operando, implícita ou explicitamente na criação de poéticas artísticas.

No campo da escultura, a impressão 3D permite ainda a obtenção de moldes extraídos do modelo 3D já criado, abrindo um leque de possibilidades para a reprodução tradicional de formas escultóricas ou como forma de repositório para estudos posteriores.

A impressão 3D possibilita também a criação de modelos de estudo aplicáveis em diferentes áreas da Escultura; como exemplo, podemos referir o estudo de modelos anatómicos e modelação de figura humana.

¹⁵ DIY – *Do It Yourself* – Faça Você Mesmo.

¹⁶ 3D CAM – (*Computer-Aided Manufactured*).
Manufatura Assistida por Computador.

Como observámos, o processo para a realização de uma Escultura Digital empreende três fases distintas que, de certa forma, acabam por se interligar e complementar. A figura 2.1. procura esquematizar o processo, as respetivas fases, as tecnologias e as possíveis aplicações.

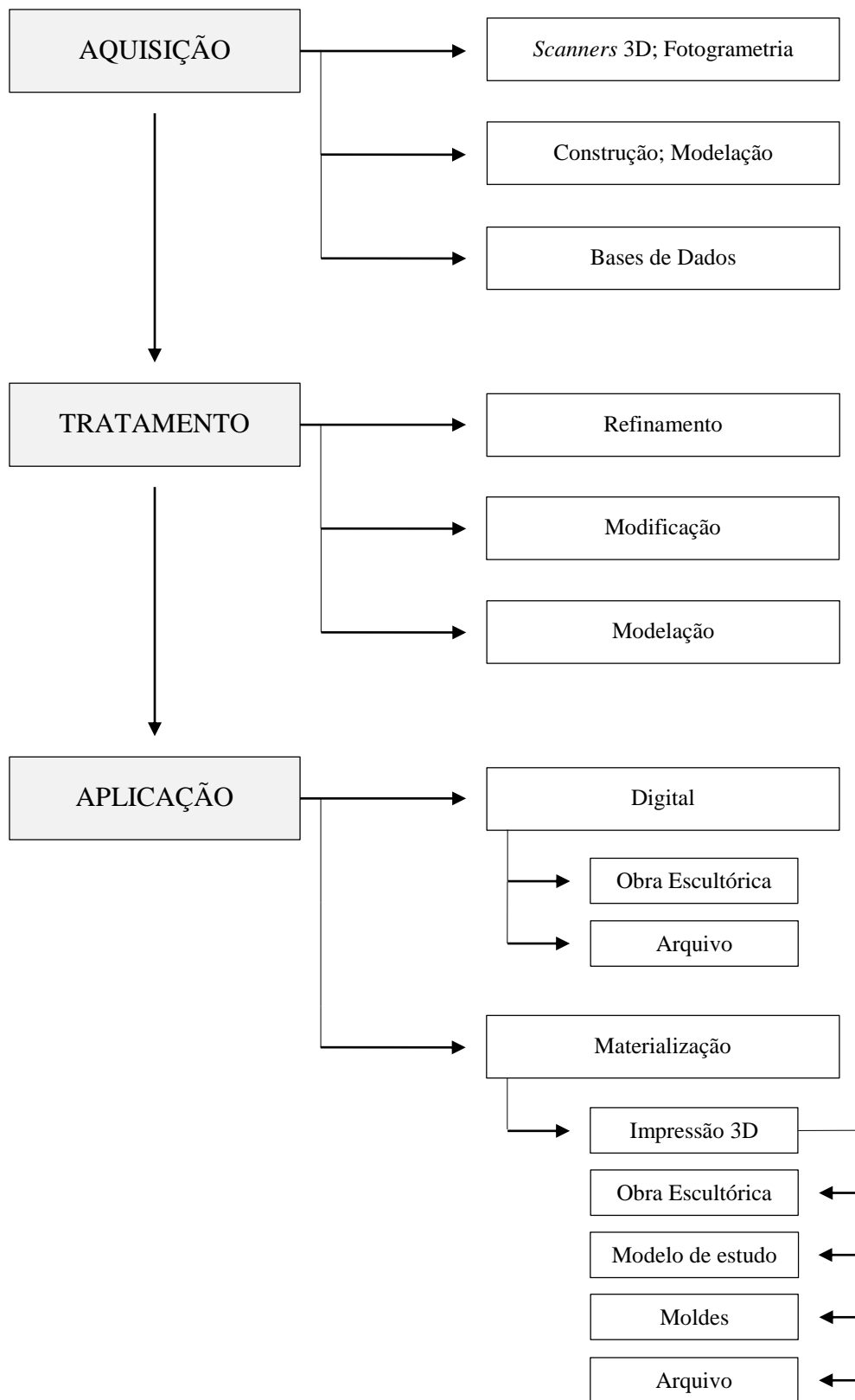


Fig. 2.1.

Após a conclusão da análise referente aos meios, tecnologias e possíveis aplicabilidades presentes na prática da Escultura Digital, pretendemos, nesta fase da investigação, realizar uma pesquisa mais detalhada destes elementos, tendo em vista a elaboração de um repositório específico para possíveis consultas. Desta forma, nos capítulos seguintes, relativos à 2ª parte desta investigação, iremos desenvolver um estudo mais aprofundado sobre as três fases que acabámos de enunciar.

Neste ponto, importa salientar que esta análise nomeará empresas e marcas referentes às tecnologias e produtos em causa; longe de pretendermos intentar um processo de publicidade gratuita, tornam-se, em nosso entender, pertinentes as alusões feitas, já que, em muitos casos, a tipologia dos meios e das tecnologias encontra-se fortemente relacionada com o conceito que exploram.

CAPÍTULO 4.

AQUISIÇÃO DE DADOS

Como pudemos observar anteriormente, a fase inicial do processo para a realização de uma Escultura Digital consiste na criação de um modelo 3D de um referente. Desta forma, o ponto de partida deste método assenta, necessariamente, na aquisição de dados que parametrizam a volumetria do modelo a criar; a obtenção deste modelo pode ser feita através de diferentes sistemas, existindo a possibilidade de conjugação de meios e tecnologias, de modo a permitir uma aquisição de dados com maior rigor e detalhe.

Através de determinadas aplicações digitais (i.e. programas de 3D CAD) podemos facilmente criar um modelo 3D primário que contém as volumetrias gerais do referente a desenvolver; uma das vertentes possíveis para o desenrolar deste método poderá consistir na tradução formal de um objeto – projetado através de esboços – para um homólogo em 3D ou, de outro modo, conceber de raiz todos os aspetos idiossincráticos relativos à criação de um projeto artístico num ambiente digital.

No entanto, como mencionámos, a montante da fase de aquisição de dados paramétricos, poderá coexistir um processo puramente analógico com o objetivo da criação de um objeto para o desenvolvimento de uma volumetria de estudo exploratório.

Assumindo-se como ponto de partida para a obtenção de um modelo 3D, estes esbocetos podem ser efetuados através de materiais tradicionais – matérias moldáveis, cartão, madeira, entre outros; o escultor poderá então, recorrendo às tecnologias digitais, dar continuidade ao processo concetual para a elaboração da sua obra escultórica.

Deste modo, a fase de aquisição de dados volumétricos poderá adotar uma de duas vertentes, tendo em vista a origem do referente:

- Material → Imaterial;
- Imaterial → Imaterial.

4.1.

Dispositivos de Aquisição de Dados

A aquisição de dados a partir de um modelo físico pode ser realizada através de dispositivos de captura volumétrica que criam uma “nuvem de pontos em bruto”¹⁷ do objeto; a tecnologia utilizada para este efeito emprega diferentes tipos de *scanners* 3D ou dispositivos de fotogrametria...

Seguidamente, procuraremos analisar estas tecnologias e meios, tendo em conta as diferentes funcionalidades, limitações e suas aplicabilidades ao universo da escultura.

4.1.1.

***Scanners* 3D**

A tecnologia referente aos *scanners* 3D divide-se em duas tipologias:

- *Scanners* 3D de contato – este tipo de dispositivos caracteriza-se pela recolha de dados volumétricos através do contato físico com a superfície do objeto;

¹⁷ *Raw Points Cloud* – (nuvem de pontos em “cru”).

Consiste na obtenção de um conjunto de pontos referenciados no espaço, de modo a constituir uma forma em «bruto» do modelo digitalizado. Posteriormente, este «negativo digital» poderá ser convertido em formatos específicos para ser trabalhado com *softwares* de 3D CAD.

- *Scanners* 3D de varrimento por radiação – esta tecnologia recolhe os dados volumétricos à distância, sem recorrer ao contato físico com a superfície do objeto.

De acordo com Ebrahim (2014), um *scanner* 3D consiste num dispositivo de captura de dados volumétricos e da aparência de um objeto físico ou de uma região. Assim, além da aquisição das coordenadas espaciais, um *scanner* 3D pode, igualmente, registar as cores e as texturas do elemento digitalizado.

Os primeiros *scanners* 3D de contato surgiram nos anos 60 do século passado. Estes consistiam em sondas articuladas cuja função residia nos sistemas de metrologia para a obtenção e aferimento de dimensões de objetos industriais. Atualmente, esta tecnologia não tem sofrido alterações significativas, mantendo, na sua generalidade o mesmo processo; através de contato com o objeto, as CMM¹⁸ criam um arquivo de pontos com grande precisão espacial, que regista os dados 3D; este processo é, essencialmente, dirigido para a captação de formas predominantemente geométricas no ramo da indústria.

No entanto, este tipo de tecnologia encontra algumas desvantagens, visto que, através do processo de contato, a sonda pode danificar o objeto a digitalizar. Note-se que este aspeto é de extrema importância quando se pretende digitalizar objetos delicados ou muito frágeis. Outra desvantagem deste processo está relacionada com a velocidade de obtenção de dados. Comparativamente às tecnologias de varrimento de radiação, as CMM despendem um tempo considerável no processo de digitalização.

Por implicar o uso de uma plataforma de referência, este método de captura obriga à colocação estacionária do aparato – geralmente no interior – impedindo o trabalho com elementos encontrados ao ar livre (e.g. artefactos arqueológicos, esculturas públicas). Por outro lado, a escala do objeto a digitalizar não pode exceder

¹⁸ CMM – (*Coordinate Measuring Machine*).
Dispositivos de aquisição dimensional de objectos.

as dimensões da base da CMM, criando assim grandes limitações ao seu uso; de um modo geral, este processo tem a sua aplicabilidade no campo da indústria.

As tecnologias referentes aos *scanners* 3D de varrimento por radiação – também conhecidas como tecnologias de digitalização 3D através de não-contato ou à distância – apresentam-se, atualmente, como as mais práticas e versáteis nos campos da ciência, da tecnologia e, como não podia deixar de ser, da Escultura Digital.

Recentemente, a utilização destes tipos de tecnologias encontra grande aplicabilidade em vários campos. Entre outros, temos o exemplo da indústria, da medicina, do *design*, da arquitetura, da prototipagem rápida e do campo da multimédia. Torna-se evidente o uso das potencialidades da digitalização 3D nas áreas referidas. Concretizando alguns dos exemplos acima citados, podemos referir a sua presença na indústria cinematográfica, através da captura de formas e personagens, com a aplicabilidade nos ambientes virtuais e posteriores animações; na área da medicina, conjugando as tecnologias de prototipagem rápida, que tornam possível a reconstituição, ou construção, de partes anatómicas sob a forma de próteses.

A digitalização 3D, através de *scanners* de varrimento por radiação, tem a sua origem em meados dos anos 80; aplicando processos óticos de captura volumétrica às máquinas de CMM, foi possível a criação deste tipo de dispositivos. No entanto, o rápido desenvolvimento deste tipo de tecnologia só se tornou viável com a evolução dos microprocessadores e com o exponencial crescimento da capacidade dos dispositivos de armazenamento de dados, possibilitando a portabilidade dos aparatos e a redução dos custos dos seus componentes.

Os diferentes tipos de *scanners* 3D de varrimento por radiação agrupam-se de acordo com diferentes categorias; no entanto, de uma maneira geral, a captura da geometria do objeto físico reside em processos de triangulação ou de estimativa de distância percorrida por uma radiação. Segundo Ebrahim (*Op. cit.*), estes dispositivos óticos têm um funcionamento similar ao das câmaras fotográficas:

«Os Scanners 3D são bastante idênticos às câmaras fotográficas. Como estas, os *scanners* têm um campo de visão cónico e apenas recolhem informação de superfícies iluminadas. Enquanto a câmara recolhe informação de cor de superfícies dentro do seu campo de visão, um *scanner* 3D recolhe informação de distância de superfícies dentro do seu campo de visão. A “fotografia” produzida pelo *scanner* 3D descreve a distância relativa a uma superfície em cada ponto da imagem. Isto permite que a posição tridimensional de cada ponto da imagem seja identificada».¹⁹

(tradução nossa).

Os *scanners* 3D de varrimento por radiação podem capturar a geometria volumétrica de um objeto físico através de *laser*, luz-branca ou recorrendo à emissão de raios X; como referimos, estes dispositivos apresentam-se como os mais versáteis nos processos de captação de dados volumétricos de ambientes os objetos físicos.

Atualmente é possível adquirir aparelhos deste género por preços razoáveis, permitindo um uso particular sem a necessidade de grandes conhecimentos tecnológicos específicos na área. Para além dos custos, outra particularidade pertinente na sua utilização consiste na sua fácil portabilidade e usabilidade.

Os princípios operacionais dos *scanners* 3D de varrimento por radiação (Boehler & Marbs; 2002 e Ebrahim; 2014) assentam em tecnologias óticas que recorrem a dois processos principais: triangulação trigonométrica ou estimativa de distância de radiação, também conhecido por *time-of-flight*.²⁰

¹⁹ «3D scanners are very analogous to cameras. Like cameras, they have a cone-like field of view, and like cameras, they can only collect information about surfaces that are not obscured. While a camera collects color information about surfaces within its field of view, a 3D scanner collects distance information about surfaces within its field of view. The "picture" produced by a 3D scanner describes the distance to a surface at each point in the picture. This allows the three dimensional position of each point in the picture to be identified».

(Ebrahim, 2014: 4).

²⁰ *Time-of-flight* – (tempo de voo).

Refere-se à estimativa da distância percorrida, entre um emissor e um recetor, por um feixe *laser* refletido na superfície do objeto físico.

A triangulação trigonométrica consiste no cálculo da posição do objeto através da emissão e da receção de uma radiação – *laser* ou luz-branca. A radiação é feita a partir de um ponto de origem e direcionada ao objeto; é então refletida na superfície do objeto e recolhida num sensor fotométrico, criando assim o triângulo de referência.

Este processo é essencialmente utilizado na captura de dados volumétricos a curta distância; como limitação, podemos referir que os objetos a digitalizar não podem ter grandes dimensões – como por exemplo edifícios ou monumentos – uma vez que a distância focal destes dispositivos é aferida para menos de um metro. Este tipo de tecnologia encontra-se nos *scanners a laser* 3D e nos *scanners* 3D de Luz Estruturada. A diferença entre estes dois tipos de dispositivos assenta no tipo de radiação emitida. A emissão *laser* pode ser feita através de ponto, linha ou área, varrendo a superfície a parametrizar; por outro lado, os *scanners* 3D de Luz Estruturada projetam um feixe de luz padronizada em direção ao objeto, de modo a proceder à análise da sua deformação num recetor, calculando assim a distância ao emissor.

Os processos de metrologia aplicáveis à captura de dados volumétricos a média e longa distância recorrem, maioritariamente, a sistemas tecnológicos relativos à estimativa de distância de radiação; tendo como referência os valores da velocidade da luz, este processo consegue aferir a distância entre um emissor e um recetor percorrida por um feixe *laser* refletido numa superfície. Estes dispositivos requerem, no entanto, uma base estacionária de forma a parametrizar as dimensões dos objetos digitalizados.

Os sistemas de digitalização 3D que temos vindo a observar limitam a captura de referências topológicas à superfície do objeto físico (Hauseman & Horne; 2014). Assim, é possível aceder ao interior do modelo a digitalizar através de dispositivos de ultrassons ou de tomografia computadorizada. Naturalmente, estes processos implicam uma produção dispendiosa já que nos referimos a aparatos industriais de grandes custos.

No entanto, dentro do âmbito da temática desta investigação, torna-se pertinente enunciar, dentro do universo deste tipo de tecnologias, outros meios que se revelam mais práticos e acessíveis para a realidade da Escultura Virtual. Atualmente podemos

encontrar no mercado um largo leque de dispositivos referentes aos procedimentos de digitalização 3D; inclusivamente, este processo pode ser encomendado a empresas que se dedicam à digitalização e prototipagem rápida de modelos físicos construídos em diferentes escalas e materiais.

Presentemente, este nicho de mercado encontra-se em grande expansão, em parte, fruto da novidade implementada nos diferentes campos de investigação e da indústria. Podemos, inclusive, oferecer uma miniatura da nossa figura – com grande detalhe volumétrico, cor e texturas – como presente alusivo a algum acontecimento ou como recordação.

Na nossa perspetiva, tendo em vista a construção de uma investigação que possa contribuir como documento de consulta para a nossa atividade de docente de Escultura, interessa, pois, debruçarmo-nos sobre os dispositivos e tecnologias que mais se adequam à prática desta disciplina, permitindo a evolução de novos paradigmas no processo de ensino e de aprendizagem.

Dos diferentes aspetos a ter em consideração podemos enunciar, entre outras, as seguintes características como as mais relevantes:

- Facilidade de uso e manutenção;
- Rigor;
- Baixo custo;
- Portabilidade;
- Informação e partilha de experiências;
- Possibilidade de construção dos dispositivos - DIY;

- Segurança.

Estes aspetos concorrem igualmente para a prática profissional do escultor, uma vez que facilitam a utilização de diferentes meios que, na maioria dos casos, são novidade; deste modo, torna-se possível a introdução deste universo na prática escultórica – quer ao nível do ensino, como ao nível profissional – recorrendo a processos simples e de baixo custo, possibilitando uma experimentação e avaliação dos mesmos.

Os *scanners* 3D portáteis disponíveis no mercado oferecem um grau de elevado rigor na obtenção dos dados volumétricos a digitalizar (Boehler & Marbs, *Op. Cit.*). Para além de apresentarem um custo cada vez mais acessível, estes dispositivos são de grande versatilidade para a finalidade a que se destinam.

Alguns destes modelos têm a possibilidade de se conectarem a um computador ou a um dispositivo móvel (e.g. *tablet* ou *smartphone*) através de um cabo USB, permitindo a visualização, em tempo real, do progresso da digitalização do objeto físico sob a forma de uma malha de superfície em 3D. Deste modo, o utilizador poderá controlar o processo com mais precisão, fazendo os ajustes necessários para o completo varrimento do modelo.

Este tipo de *scanners* 3D – de varrimento *laser* ou de Luz-Estruturada – permitem, na maioria dos casos, a recolha de dados cromáticos e texturais do modelo, criando posteriormente um mapa de texturas a aplicar no modelo 3D. A título de exemplo, podemos referir alguns modelos de *scanners* que cumprem estas funcionalidades: Artec EVA; Artec Spider; Sense 3D e Fuel3D.

Uma outra solução possível para a aplicação deste tipo de tecnologias, reside na utilização de dispositivos de varrimento com base giratória. Estes aparelhos, igualmente de baixo custo, são formados por dois componentes principais – emissor/recetor e base circular – permitem o varrimento do objeto numa amplitude de 360º; no entanto, o

modelo a digitalizar tem de ser de pequenas dimensões; estes dispositivos são também conhecidos como *scanner* 3D de “secretária”.

Com maior ou menor resolução, é possível obter resultados satisfatórios com objetos de pequeno vulto, como pequenos esboços tridimensionais ou maquetas de estudo. Podemos, a título de exemplo, referir os seguintes modelos: MakerBot Digitizer; Rubicon 3D; Cubik 3D e Da Vinci 3D AiO. Este último consiste numa impressora 3D de extrusão que incorpora, dentro da cuba de impressão, um *scanner a laser* 3D.

4.1.2.

Scanners 3D Open-source

O fenómeno da iniciativa de *Open-source*,²¹ ou Código Aberto, estende-se a diferentes áreas dos meios e da tecnologia informática; abrangendo maioritariamente os campos do *software* e do *hardware*. Esta iniciativa disponibiliza produtos cujo desenvolvimento assenta na partilha de um modelo colaborativo de produtos intelectuais. Através da livre distribuição, podemos aceder a diferentes tecnologias que se encontram em fase de desenvolvimento, podendo, inclusive, participar e contribuir para o desenrolar destes processos.

No campo da metrologia, no que concerne aos *scanners* 3D e aos processos de fotogrametria, deparamo-nos com um crescente desenvolvimento deste tipo de iniciativas, que promove uma rápida disseminação e evolução destes tipos de dispositivos.

Aliando o *Open-source* ao DIY, é possível a manufatura particular de um aparelho de digitalização 3D; recorrendo à informação disponível *on-line*, podemos «descarregar» os projetos em CAD 3D, o *software* necessário e as respetivas instruções

²¹ *Open-source*.

Código aberto – Licenciamento livre referente ao desenvolvimento de *softwares* disponibilizados *on-line*, permitindo a participação de qualquer indivíduo.

de montagem; recorrendo à prototipagem rápida, o modelo do dispositivo é, assim, impresso em 3D de modo a podermos proceder à montagem e à instalação do mesmo.

Deste modo, com base na utilização de elementos de uso comum – como *webcams*, ponteiros *laser*, projetores e máquinas fotográficas digitais – torna-se possível a construção de um *scanner* 3D com custos bastante reduzidos e com resultados, por vezes, surpreendentes na aferição de tolerâncias de rigor paramétrico.

Estes dispositivos, e os respetivos elementos para a sua construção, podem ser encontrados fazendo uma pesquisa *on-line* das seguintes referências: Free Lss; MakerScanner; 3DUnderWorld – SLS; FabScan; MakerBot 3D Scanner; Atlas; BQ; Kinect Microsoft Xbox 360 e David Scanner, consistindo este último exemplo num *kit* com elementos pré-fabricados para venda e montagem.

Importa ainda referir que todos os processos acima citados – industriais ou não – carecem de uma fase posterior de tratamento dos dados adquiridos por todos estes dispositivos. Como observámos, o processo de recolha de dados paramétricos constrói uma nuvem de pontos que formam uma superfície 3D em “bruto” do objeto físico digitalizado. No entanto, esta tecnologia ainda apresenta algumas limitações referentes ao produto inicial da digitalização: é comum encontrarmos falhas de continuidade de superfície no ficheiro 3D de raiz, apresentado áreas incompletas e “vazios” estruturais.

Este problema é de extrema importância para a posterior aplicabilidade do modelo digital; quer seja para impressão 3D, como para aplicações digitais, a volumetria da superfície do modelo deve apresentar-se completamente «estanque», conceito este também conhecido como *watertight*.²² Recorrendo a *softwares* específicos para processar e editar malhas 3D incompletas, esta tecnologia aplica filtros de reparação automática que removem elementos não referenciados ou duplicados, apresentando um resultado final com as exigências pretendidas para a continuidade do processo. Como exemplo deste tipo de *softwares*, podemos enunciar os seguintes, em

²² *Watertight* – (à prova de água).

Refere-se ao conceito de estanquidade de um objeto digital, não devendo, para o efeito, apresentar falhas ou vazios ao longo da sua superfície.

configuração de *Open-source* ou em serviço *on-line*: MeshMixer; MeshLab e Microsoft Model Repair.

A aplicabilidade deste tipo de tecnologias na área dos estudos da escultura, como no campo profissional, assume grande relevância; como pudemos observar, é possível obter um modelo 3D de um objeto físico com grande rapidez e facilidade, recorrendo a diferentes categorias de meios – ao nível do rigor de captura das volumetrias e texturas, na usabilidade e nos custos associados.

Aliando a digitalização 3D com os processos de prototipagem rápida e/ou com a modelação 3D, surgem novos paradigmas nos processos criativos escultóricos, revelando também outras propostas no ensino e na aprendizagem desta disciplina.

4.1.3.

Fotogrametria

Na grande maioria dos casos, a captura dos dados paramétricos de objetos físicos estáticos é realizada por *scanners* 3D, visto que o processo relativo ao «varrimento» das superfícies não é imediato; deste modo, o tempo despendido por estes sistemas torna-se redundante; como podemos constatar, a digitalização de um edifício, de um monumento ou de uma escultura, acaba por se revelar muito mais prático com esta tecnologia.

Embora a digitalização 3D de um modelo vivo possa ser executada com estes dispositivos, é essencial ter em atenção a necessidade de imobilidade do referente. É óbvia a dificuldade que encontraríamos na eventualidade de querermos digitalizar um animal, uma criança ou um adulto numa postura instável. Podemos, inclusive, optar por capturar os dados de uma sequência de movimento (e.g. dança, desporto). Neste tipo de

situações, o processo de captura de dados volumétricos assenta na tecnologia da fotogrametria.²³

A fotogrametria é uma ciência relativamente antiga. Foi estudada e desenvolvida por Aimé Laussedat,²⁴ sistematizando os princípios definidores desta técnica com a edição da obra *La Métophotographie* em 1899. A fotogrametria tem uma vasta aplicação nas áreas da cartografia e da topografia, recorrendo, para o efeito, à fotografia aérea de modo a criar com grande rigor mapas topográficos.

Atualmente, aliado a esta tecnologia, assistimos ao desenvolvimento da indústria geoespacial 3D em diferentes aplicações. O Google Earth é um exemplo paradigmático deste aspeto, permitindo a visualização 3D – em termos de topografia e de elementos urbanos – de milhares de cidades dispersas pelo planeta. Por outro lado, os *interfaces* gráficos dos sistemas de posicionamento global (GPS) utilizam igualmente esta tecnologia, disponibilizando informação 3D do ambiente físico envolvente ou do percurso selecionado pelo utilizador.

Paralelamente aos métodos de digitalização através de *scanners* 3D ativos (e.g. varrimento por radiação), os dispositivos de fotogrametria são utilizados nas áreas da preservação e conservação digital, na arqueologia, na criação de modelos 3D para acervos históricos, nas aplicações gráficas de realidade virtual e realidade aumentada e, entre outras, na área da escultura.

Podemos definir a fotogrametria como a ciência relativa à captura e interpretação de dados de informação rigorosa, através de fotografia, sobre as propriedades geométricas e lumínicas de objetos e superfícies, prescindindo do contato físico com o referente (Schenk; 2005). Para o efeito utiliza-se, na grande maioria dos

²³ Fotogrametria – consiste na captura de dados volumétricos de um objeto físico através de um conjunto de fotografias tomadas de diferentes ângulos. Posteriormente as imagens são processadas de modo a criarem um modelo 3D do referente, recorrendo ao cálculo posicional dos dispositivos em relação ao modelo no espaço.

²⁴ Aimé Laussedat (1819-1907). Coronel francês, matemático e professor de geometria e astronomia, é considerado o pai da fotogrametria. É de sua autoria a obra *La Métophotographie*, editada pela Société Française de Photographie em 1899.

casos, a fotografia analógica ou digital, embora seja também possível utilizar o vídeo neste tipo de processo.

O desenvolvimento observado no âmbito das tecnologias de fotogrametria, determinado pela evolução de processamento e análise de imagens digitais, permitiu um rápido avanço nos processos de automatização de captura de dados volumétricos (Toz & Duran; 2004), consubstanciando assim alternativas aos meios de digitalização 3D.

Através de dispositivos industriais de alta precisão ou de simples soluções “caseiras”, os sistemas de fotogrametria permitem, atualmente, a criação de modelos 3D com resultados de grande eficácia; este tipo de modelos digitais têm a denominação de modelo fotográfico 3D.

A Fotogrametria consiste em sistemas de comparação de séries de imagens 2D tomadas de diferentes ângulos e posições, possibilitando a posterior criação de uma malha poligonal 3D. A conversão da informação geométrica 2D para a criação do modelo 3D é obtida através de formulações derivadas de princípios geométricos perspetivos.

Estes modelos são compostos por duas partes: uma é referente à informação da geometria tridimensional do objeto físico; a outra é relativa à foto-textura do mesmo. As imagens utilizadas servem, assim, para a sua conversão em mapas de textura a aplicar sobre a superfície da malha 3D referida, resultando num modelo 3D com a representação fotográfica da superfície original.

Através da aplicação desta tecnologia, prescinde-se da criação digital de mapas de texturas referentes a materiais e efeitos lumínicos. Dependendo do rigor do tipo de dispositivos de fotogrametria, a malha poligonal poderá apresentar algumas irregularidades.

No entanto, esta limitação é colmatada pela aplicação do mapa de texturas, visto que este permite ocultar as anomalias da superfície, obtendo-se resultados muito satisfatórios no modelo fotográfico 3D.

Presentemente, para o âmbito de aplicações na prática escultórica, podemos dividir os diferentes tipos de sistemas de captura de dados volumétricos, através de dispositivos de fotogrametria, em dois grupos principais:

- Fotogrametria Profissional;
- Fotogrametria DIY.

4.1.4.

Fotogrametria Profissional

Para além das áreas de aplicação industrial ou institucional, a fotogrametria profissional pode ser aplicada, a título de exemplo, nas áreas referentes à arquitetura, *design* de equipamento e escultura.

No entanto, estes processos implicam a contratação de empresas especializadas no ramo, pois esta vertente envolve tecnologias e meios sofisticados; como consequência, os custos de produção são naturalmente elevados, encontrando-se muitas vezes acima dos orçamentos disponíveis.

De qualquer forma, esta solução assume grandes valias relativamente às alternativas presentes. Sendo realizada com recurso a tecnologias avançadas, os resultados obtidos são excelentes tendo em conta o fim a que se destinam. Deste modo, revelam-se como uma opção a ter em consideração se pretendermos obter um modelo 3D com grande rigor e fiabilidade.

Como observámos, a fotogrametria é amplamente utilizada para a captura de dados volumétricos de objetos ou assuntos que impliquem movimento. Como poderemos constatar, os métodos alternativos àquele a que nos referimos, encontram grandes limitações técnicas e processuais, criando grandes dificuldades para serem executados em contextos em que são requeridas condições especiais.

O funcionamento dos processos de fotogrametria profissional consiste na utilização de sistemas de multicâmaras fotográficas dispostas em posições específicas – previamente aferidas e calibradas – de modo a obter-se uma informação geométrica e textural do objeto físico a digitalizar. O modelo 3D é assim obtido instantaneamente com recurso a múltiplas fotografias realizadas a partir de diferentes ângulos e no mesmo momento.

Este processo é geralmente realizado em estúdios fotográficos, recorrendo a estruturas com o formato de cúpula – envolvendo o referente físico – e, literalmente, revestidas de máquinas fotográficas do tipo DSLR²⁵ de alta resolução sincronizadas entre si.

Por outro lado, o facto de este processo ser realizado em estúdio permite a criação de condições de iluminação particulares, promovendo o rigor do produto final. A geometria, ou forma, do referente físico é então calculada separadamente com recurso a *softwares* específicos, como o Agisoft PhotoScan.

A fotogrametria profissional também pode ser executada em ambientes externos, permitindo a captura de dados relativos a diferentes atividades do ser humano – no ambiente original – ou às volumetrias de edifícios e espaços abertos, como praças ou recintos de espetáculo.

Deste modo, no campo da escultura pública, torna-se possível recorrer a este processo, tendo em vista, por exemplo, a criação de documentos e de arquivos 3D do

²⁵ DSLR – (Digital single-lens reflex camara).
Máquinas fotográficas digitais de lente única.

legado escultórico de uma região, assumindo-se como uma alternativa multifacetada relativamente aos processos tradicionais de arquivo fotográfico.

No entanto, embora a fotogrametria profissional permita obter excelentes resultados no processo de digitalização 3D, podemos encontrar algumas limitações no seu uso. Ao depender de sistemas complexos de calibração, referenciação e utilização de estruturas físicas, este método perde a particularidade da portabilidade, implicando uma pré-produção muito detalhada.

Este facto implica ainda a perda de outro fator que, na nossa perspetiva, se revela de grande importância na idiossincrasia do ato de captura de informação de um referente para a prática da escultura: a Oportunidade.

Certamente, a possibilidade de podermos retirar informações imediatas de um referente consubstancia-se como uma característica importante no processo criativo de uma obra. O recurso a estudos exploratórios sob a forma de esboços gráficos ou com o recurso a fotografias é uma prática comum nos nossos dias. Atualmente dispomos de objetos e diversos dispositivos que o permitem, como o “velho” caderno de esboços ou, numa vertente mais contemporânea, as câmaras fotográficas dos *smartphones* e *tablets*; estes últimos, também nos dão a hipótese de realizar registos gráficos através de aplicativos específicos para esse fim.

Toda esta profusão de meios tecnológicos permite-nos colocar a seguinte questão: será possível, com o recurso aos dispositivos móveis do quotidiano contemporâneo da Sociedade Digital, realizar a captura de dados paramétricos de referentes físicos e convertê-los num modelo 3D? Como é sabido, já o podemos fazer com grande facilidade. Deste aspeto daremos conta de seguida.

4.1.5.

Fotogrametria DIY

As soluções alternativas aos sistemas de fotogrametria profissional revelam resultados relativamente inferiores ao nível dos detalhes geométricos da malha de superfície, assim como das cores e texturas respeitantes às do referente físico original.

Como iremos observar, devido às características técnicas e respetivos meios utilizados, a aquisição de dados volumétricos, obtidos através deste processo, não permite referências geométricas muito rigorosas, como aquelas obtidas em estúdio ou em ambientes previamente estruturados para o efeito.

No entanto, os avanços levados a cabo nas áreas das tecnologias informáticas, nomeadamente nos processadores GPGPU²⁶ das placas gráficas, possibilitaram o abrir de novas fronteiras aos processos de fotogrametria, democratizando o acesso a esta tecnologia por parte de utilizadores sem conhecimentos específicos na área (Hauseman & Horne; 2014). Recorrendo a simples dispositivos fotográficos, torna-se possível obter um modelo 3D sem a necessidade de utilização de aparatos dispendiosos ou de «super» computadores.

Estes processos começaram por ser realizados a partir da referenciação de pontos homólogos, localizados numa sequência de fotografias obtidas de vários pontos de vista do mesmo referente. Com o recurso a um *software* específico, estes pontos eram obrigatoriamente assinalados um a um pelo utilizador e, posteriormente, era gerada uma malha 3D do objeto físico revestida pelo respetivo mapa de texturas, dando origem ao modelo 3D.

²⁶ GPGPU – (*General Purpose Graphics Processing Unit*).

Unidade de Processamento Gráfico de Propósito Geral. Permite realizar diferentes cálculos e tarefas – referentes ao processamento de imagem – sem recorrer à Unidade Central de Processamento do computador. Este aspeto possibilita um processamento de dados muito mais rápido, além de apresentar novas alternativas e funcionalidades.

Este método permitia resultados razoáveis com formas predominantemente paralelepípedicas, tendo grande aplicabilidade por parte de estudantes curiosos dos cursos de arquitetura. Como podemos imaginar, a sua utilização com referentes orgânicos tornava-se numa tarefa impossível de conceber. A título de curiosidade, podemos encontrar este processo na aplicação *on-line Building Maker* da empresa Google, que oferece a possibilidade de construção e colocação de edifícios em 3D dispersos pelo mundo inteiro ao utilizador comum.

A fotogrametria DIY consiste na captura de dados paramétricos de um referente físico com recurso a um dispositivo fotográfico digital. A captura dos dados é realizada através de uma sequência fotográfica do referente, tomada de diferentes pontos de vista. A sequência é obtida através de uma deslocação ortocêntrica relativa ao objeto, ou espaço físico, a digitalizar.

Posteriormente, a sequência de fotografias é inserida num *software* que, através da análise de incidência da luz em cada fotograma, consegue aferir a posição do dispositivo fotográfico em relação ao referente, criando assim, através do processo da triangulação, uma nuvem de pontos do objeto digitalizado. A informação recolhida é convertida numa malha 3D de superfície e num mapa de texturas. Este processo utiliza a tecnologia *structure from motion* (SFM).²⁷

Podemos constatar que este tipo de processamento de dados é idêntico ao realizado pela fotogrametria profissional. No entanto, embora possa parecer redundante, tal como referimos, esta solução não consegue apresentar o mesmo nível de detalhe no produto final digitalizado em estúdio mas, em nosso entender, apresenta grandes vantagens práticas para o uso pessoal, daqui resulta a pertinência do termo DIY – Faça você mesmo.

²⁷ SFM – (*structure from motion*).

Estrutura através de movimento. A tecnologia SFM resulta na captura de dados volumétricos através de triangulação estereoscópica, recorrendo a uma sequência de dois, ou mais, registos fotográficos de um referente. Comparando elementos da estrutura da imagem (e.g. vértices, arestas) e a direção de gradientes lumínicos, torna-se possível a reconstrução de um modelo 3D do referente.

Por um lado, este método pode ser realizado de uma forma extremamente simples, com o recurso a uma simples máquina fotográfica digital ou a um dispositivo móvel, tornando assim evidente a facilitação dos aspetos de portabilidade e disponibilidade para o utilizador. Interessa referir que a qualidade das fotografias utilizadas interfere exponencialmente com o nível de detalhe obtido na malha e na textura do modelo 3D, embora presentemente a capacidade dos dispositivos óticos revele resultados francamente bons na obtenção de imagens.

Desta forma, para proceder à captura de dados volumétricos de um referente, o escultor deverá descrever um percurso circular – em torno do objeto – e efetuar uma sequência de fotografias. Este processo deve ser feito de modo a manter uma mesma distância relativa. Este varrimento fotográfico deverá ser feito em diferentes planos (e.g. perpendiculares e oblíquos ao eixo de rotação) de modo a recolher um maior número de dados a extrapolar.

Por outro lado, sempre que possível, deve evitar-se grandes contrastes lumínicos na superfície do referente, uma vez que as zonas de sombra criam problemas na aferição dos dados; consequentemente, será preferível realizar este processo com iluminação difusa.

Como podemos depreender, devido à sua portabilidade, a execução desta fase de procedimento pode ser conduzida dentro do *atelier*, ou sala de aula, assim como no exterior. Sublinhe-se que este processo é considerado de *close range*,²⁸ implicando a necessidade do referente se encontrar a uma distância consideravelmente reduzida do utilizador, limitando assim a escala do objeto a digitalizar.²⁹

²⁸ *Close Range*.

Referente aos processos de aquisição de dados volumétricos realizados a curta distância. Em contraste, podemos encontrar os processos de média e de longa distância; para este efeito recorre-se a outros dispositivos e tecnologias.

²⁹ Este método não permite obter resultados significativos quando aplicado a grandes volumetrias, como edifícios ou monumentos de grande escala, já que o enquadramento teria de ser realizado a uma distância considerável. Por outro lado, devido às cotas do referente, seria complicado a tomada de fotografias do topo do objeto a digitalizar embora, atualmente o uso de *drones* permite colmatar estas dificuldades.

Concluído o processo da aquisição da sequência fotográfica do referente físico, torna-se necessária a introdução e tratamento dos dados relativos a este método. Para o efeito, existem diversos tipos de *software on-line*, disponíveis em *Open-source*, que permitem a sua realização de uma forma muito rápida e eficaz. Inclusive, podemos encontrar aplicativos para as diferentes plataformas de dispositivos móveis que funcionam no sistema AIO,³⁰ que possibilitam a concretização das diferentes fases deste processo.

Desta forma, recorrendo apenas a um aparelho, podemos fazer a recolha fotográfica, tratamento e respetiva conversão de dados num modelo 3D pronto a utilizar e com resultados muito satisfatórios. Como exemplo, podemos destacar o aplicativo 123D Catch da Autodesk, de instalação e uso gratuito, correndo nas plataformas Android, iOS e Windows.

Contudo, a utilização dos diferentes *softwares* disponíveis permite a aplicação de uma metodologia mais rigorosa, ao admitirem processos de refinamento e tratamento de dados que resultam em produtos finais de grande qualidade. Como exemplo, podemos referir os seguintes *softwares* dedicados a estas tarefas: Visual SFM, iModeller 3D, D Sculptor, RhinoPhoto, 3D Builder e, entre outros, Photo Modeler.

Presentemente, as instruções para a instalação e utilização destes *softwares* encontram-se largamente disseminadas em fóruns de debate *on-line*, que permitem um fácil acesso a este tipo de informação, facilitando o seu emprego por parte de utilizadores com pouca experiência e conhecimentos na área. Os próprios programas detêm uma lógica de funcionamento *user friendly*³¹ promovendo uma simples usabilidade e exploração dos mesmos.

³⁰ AIO – (*All-In-One*).

Dispositivos ou programas multifuncionais que permitem a realização de diferentes tarefas. (e.g. impressoras multifunções).

-

³¹ *User friendly*.

“Amigo do utilizador”. Refere-se a interfaces gráficas de *softwares* de fácil utilização; construídos segundo uma lógica de aplicação de autonomia de utilização decorrente de uma aprendizagem e satisfação aplicadas ao seu uso seu sucessivo.

Podemos assim concluir que a utilização deste sistema assume um conjunto de mais-valias na sua aplicabilidade no campo da escultura; isento de qualquer tipo custos, e possibilitando o seu uso em qualquer momento – e em qualquer lugar – torna-se viável como uma alternativa a tecnologias e dispositivos que implicam processos morosos e dispendiosos para a aquisição de dados paramétricos.

Embora com algumas limitações, os resultados obtidos são de franca qualidade, sendo, em alguns casos, considerados como verdadeiros milagres tecnológicos decorrentes do nível de rigor obtido na malha geométrica e no respetivo mapa de texturas.

Deste modo, podemos enunciar as seguintes vantagens a ter em conta no emprego deste tipo de processo nas diferentes áreas da escultura:

- Simplicidade de execução;
- Facilidade de meios;
- Disponibilidade de informação;
- Portabilidade;
- Custos reduzidos ou nulos;
- Bons resultados na relação qualidade/tecnologia empregue.

De igual forma, como referido na parte da utilização de *scanners* 3D, este processo implica a reparação das malhas de superfície 3D obtidas, empregando-se para tal os mesmos programas mencionados para a resolução deste efeito. Após este processo, o modelo 3D do referente poderá ser exportado, tendo em vista os diferentes tipos de utilizações.

Devemos ainda fazer referência a outro tipo de programas utilizados nas fases de conclusão dos processos de digitalização 3D. Estes são denominados Visualizadores de Modelos 3D e consistem em diversos aplicativos que permitem a visualização de diferentes parâmetros do objeto digital obtido sem, no entanto, possibilitarem qualquer tipo de edição.

Atualmente, a sua utilização pode ser considerada redundante devido à multifuncionalidade dos *softwares* utilizados nas fases posteriores de tratamento de dados, assim como naqueles utilizados para as diferentes aplicações que o modelo 3D poderá vir a ter.

Não obstante, a utilização destes visualizadores pode ser o destino final do produto da digitalização,³² visto que o recurso a este género de aplicativos pode ser realizado *on-line* bastando, para o efeito, proceder ao envio do modelo 3D obtido na digitalização para endereços específicos dedicados a este fim. A visualização deste tipo de derivados consiste na conversão dos dados obtidos – por *scanner* 3D ou por fotogrametria – em padrões próprios para ambientes *web* suportados em diferentes plataformas.

Regra geral utiliza-se o formato VRML³³ ou o padrão X3D. Este último resulta da evolução do VRML devido ao franco desenvolvimento da comunicação de dados 3D por parte dos aplicativos de real-time (Toz & Duran; *Op. Cit.*). Para além da interatividade, as diferentes soluções disponíveis permitem a visualização das texturas do objeto, como os diferentes efeitos de iluminação estabelecidos.

³² Como pudemos observar, a *internet* assume-se como um palco universal para a exposição de diversas manifestações artísticas do âmbito da arte digital.

-

³³ VRML - (*Virtual Reality Modeling Language*).

Linguagem de Modelação de Realidade Virtual. Consiste na linguagem utilizada para descrever diferentes tipos de objetos e cenas para a criação de ambientes interativos 3D na *Web*, permitindo ao utilizador a deslocação nos espaços envolventes, assim como a interação com os objetos presentes.

-

O VRML é um formato de dados 3D que agrega informação hierárquica relativa a parâmetros de geometria, iluminação, pontos de vista, animação, materiais e mapas de texturas. Permite examinar e visualizar objetos virtuais de modo interativo, sendo a conversão de dados para este formato executada de modo automático – como alternativa de formato de Exportação – consistindo em duas partes: conversão de geometria e de mapas de textura.

Como já fizemos referência, após a conclusão dos diferentes processos de digitalização 3D, o modelo obtido deverá ser exportado para diferentes aplicativos que enformam variadas utilizações. Geralmente a fase seguinte do percurso desta metodologia implica o tratamento de dados de um modo mais detalhado, embora os programas utilizados na reparação de malhas de superfície consigam realizar grande parte do trabalho.

Contudo, a fase de tratamento de dados implica a edição de volumetrias e texturas, independentemente do fim a que se destinam, sendo necessária a utilização de *softwares* próprios para a modelação 3D ou para os processos de Engenharia Inversa.

Deste modo, tendo em vista o recurso a programas de 3D CAD, os formatos utilizados para exportar os modelos digitalizados podem assumir extensões gerais – acedidos pela maioria dos *softwares* – ou extensões particulares que apenas podem ser acedidas pelo programa a que se destinam.

Os formatos de ficheiros mais correntes para o tratamento de modelos 3D digitalizados têm, entre outras, as seguintes extensões: .stl; .obj; .ply; .ascii e .fbx.

Dependendo da escolha destes dois tipos de tecnologia e dispositivos – *scanners* 3D e fotogrametria – encontramos vantagens e limitações em ambos os casos. De acordo com o tipo de resultado que se pretende obter, podemos optar por diferentes alternativas. Este facto encontra também relevância nos diferentes estágios de um projeto a desenvolver, visto que, numa fase inicial, podemos optar pelo uso de processos mais práticos e económicos passando, posteriormente, para opções mais refinadas.

Independentemente da opção tomada, consideramos que o uso destes meios é de extrema relevância para o desenvolvimento de novos paradigmas da prática escultórica, revelando alternativas que, de alguma forma, podem ser integradas com os processos mais tradicionais; em nosso entender, ao complementar algumas lacunas, torna-se

importante a introdução destes processos, de um modo mais assertivo, na realidade do ensino e aprendizagem da escultura.

4.2.

Softwares de 3D CAD

Como pudemos observar até este ponto, os processos relativos à aquisição de dados têm como origem um referente material; esta metodologia implica a conversão da informação recolhida em diferentes tipos de dados que irão dar origem ao modelo 3D do objeto digitalizado.

No entanto, podemos obter o modelo digital do referente recorrendo a outros tipos de processos; partindo ainda de um referente físico, podemos aferir as suas dimensões e proporções volumétricas e, recorrendo a *softwares* de 3D CAD, transpor os valores obtidos, de modo a criar um esboço digital do modelo. Este ficheiro será posteriormente tratado, de forma a alcançar o resultado final pretendido e ser aplicado em diferentes fins.

Por outro lado, e seguindo uma metodologia diferente, podemos utilizar estes *softwares* como meios para criar um objeto digital, tomando como ponto de partida uma referência imaterial. Como iremos explorar mais à frente, existe ainda uma outra alternativa para podermos obter um modelo 3D partindo de uma referência imaterial: para o efeito dispomos de diversas bases de dados digitais, desenvolvidas por comunidades *on-line*, que se dedicam à partilha de ficheiros e informações referentes a diversos campos do 3D. Entre eles podemos encontrar modelos digitais cuja aplicação abrange os campos da prototipagem rápida e da modelação e construção 3D.

Como temos vindo a observar, atualmente, a utilização dos variados tipos de *software* de 3D CAD assume-se como um meio alternativo para os processos de estudo e de criação das práticas escultóricas; o recurso a estes meios deixou de ser uma

novidade “fantástica” no seio de algumas comunidades artísticas, passando, inclusivamente, a fazer parte integrante, ou parcial, da produção artística contemporânea.

As aplicabilidades destes meios na área da escultura deparam-se com diferentes alternativas que compreendem o desenvolvimento de estudos formais e volumétricos, as simulações virtuais, a criação de texturas e, entre outras, a modelação e construção de objetos escultóricos 3D. No capítulo seguinte, iremos analisar detalhadamente os diferentes tipos de *software* 3D CAD, assim como as respetivas aplicabilidades e finalidades.

Deste modo, nesta fase da investigação, procuraremos realizar uma breve abordagem introdutória destes meios, focalizando a nossa análise nos aspetos mais relevantes deste tipo de programas.

Note-se que a observação que estamos a realizar aos diversos programas de 3D CAD é relativa aos processos iniciais respeitantes à construção do modelo digital; nesta fase, aquilo que se pretende é obter um objeto 3D em «bruto», como elemento de raiz para continuação de estudos e posteriores tratamentos, nomeadamente no que concerne a pormenores de superfície, texturas e materiais a empregar, embora, muitas das vezes, a fase inicial do projeto se dilua com as fases seguintes.

Além dos programas de 3D CAD, existem ainda produtos específicos para o trabalho em 2D CAD; contudo, esta tipologia é direcionada para outros ramos do projeto – arquitetura e engenharias – em que se pretende a realização de desenhos 2D para aplicações específicas nas áreas referidas, e que não representam grande relevância para a temática que estamos a tratar. Apesar deste facto, é importante salientar que os programas de 2D CAD permitem uma complementaridade metodológica, servindo muito vezes como referência para o início da realização do projeto 3D.

Presentemente, os *softwares* de 3D CAD que se encontram disponíveis para a realização de modelos 3D envolvem soluções comerciais, gratuitas e de *Open-source*,

podendo ser utilizadas em diferentes tipos de plataformas.³⁴ De uma maneira geral, as soluções comerciais implicam custos elevados para a obtenção da licença de utilização, embora, como é óbvio, permitam funcionalidades e resultados muito superiores às soluções alternativas. A sua usabilidade requer conhecimentos mais aprofundados e, norma geral, implicam o uso de computadores com capacidades de processamento elevadas.

Curiosamente, fruto de um forte desenvolvimento das comunidades *on-line* das áreas do 3D, podemos encontrar à data alternativas que se substanciam como importantes meios de concorrência aos produtos de mercado; estas soluções, além de implicarem baixos custos, permitem a sua aplicação por parte de utilizadores com pouca experiência no campo destes tipos de programas. No entanto, apraz-nos referir que, em alguns casos, os resultados obtidos assumem um nível muito elevado, ultrapassando as expectativas pretendidas.

Independentemente deste tipo de soluções, podemos agrupar os *softwares* de 3D CAD de acordo com diferentes tipologias decorrentes das diversas finalidades a que se destinam. Delas daremos conta de seguida.

4.2.1.

Tipologia de *Softwares* de 3D CAD

Tendo em vista as diferentes funcionalidades inerentes aos processos de modelação e construção digital, podemos agrupar os *softwares* de 3D CAD de acordo com as seguintes particularidades:

³⁴ Estes programas podem ser utilizados em diferentes tipos de computadores (e.g. *Desktop* e *Laptop*) e dispositivos móveis, utilizando a maioria dos sistemas operativos disponíveis. Existem ainda soluções disponibilizadas sob a forma de *Web-based*, permitindo aceder ao programa via *internet* sem termos a necessidade de o instalar num dispositivo.

- ***Softwares de Edição de Primitivas***

Estes tipos de programas são direcionados para a construção e edição de elementos geométricos específicos, denominados por primitivas geométricas (e.g. polígonos, figuras planas curvilíneas, sólidos platônicos e sólidos de revolução, entre outros). Recorrendo a operações de edição 3D de base, torna-se possível agregar diferentes sólidos geométricos de modo a obtermos um resultado composto. Regra geral, estes programas permitem uma edição paramétrica e/ou livre, facilitando os processos para a aquisição do efeito volumétrico 3D pretendido, consistindo numa solução vantajosa para a elaboração inicial do esboço digital do modelo.

- ***Softwares de Engenharia Inversa***

Os *softwares* denominados de Engenharia Inversa³⁵ são predominantemente utilizados para a edição de formas volumétricas obtidas através da análise dos seus parâmetros estruturais; deste modo, torna-se possível aferir os valores de relação de escala de modo a realizar alterações e afinar o modelo 3D. Por norma, estes programas assumem uma usabilidade mais complexa, requerendo conhecimentos específicos aprofundados na área do 3D, encontrando como áreas de referência a arquitetura, engenharia e *design* de produtos. Porém, os processos de Engenharia Inversa também podem ser executados com o recurso a outros tipos de *softwares* de 3D CAD que apresentam outras valências.

- ***Softwares de Modelação 3D***

Em nosso entender, os programas de Modelação 3D são os que evidenciam maior aplicabilidade no campo da Escultura Digital, visto que a sua orientação é

³⁵ A Engenharia Inversa consiste no processo de representação geométrica de um objeto físico, assim como dos seus componentes e princípios tecnológicos, recorrendo para o efeito à análise da sua estrutura e função. Atualmente, a aplicação dos processos de Engenharia Inversa no âmbito dos programas de 3D CAD utiliza os dados parametrizados através da digitalização 3D de objetos.

focada para as especificidades dos diferentes estádios dos processos projetuais da prática escultórica.

Como observámos, o escultor consegue replicar virtualmente grande parte dos processos analógicos utilizados em diversas vertentes tecnológicas com o recurso a estes programas, acedendo, em tempo real, às possíveis transformações operadas no modelo de estudo.

Podemos subdividir esta tipologia de *softwares* em dois grupos:

- ***Softwares de Modelação Paramétrica***

Este tipo de programas têm a particularidade de editar uma malha 3D de superfícies através da modelação da sua estrutura. Tendo como base uma malha poligonal, e respetivos pontos de controlo, podemos manipular, um a um ou por grupos, os diferentes elementos que a compõem (e.g. linha de silhueta, curvas de geratrizes e vértices). Esta edição pode ser feita com a introdução de valores paramétricos ou recorrendo a comandos executados por dispositivos de manipulação de dados³⁶ referentes à deslocação, à rotação e, entre outros, à alteração de escalas.

- ***Softwares de Modelação Escultórica***

Como podemos depreender pela sua designação, estes programas consistem na aplicação de um conjunto de comandos que imitam os gestos e técnicas usadas na modelação analógica de superfícies físicas de matéria moldável. Neste processo digital, também conhecido como Modelação Direta ou

³⁶ Os dispositivos de manipulação de dados consistem em periféricos ligados ao processador principal do computador. Como exemplo podemos referir, entre outros, o rato (*mouse*), caneta digital e *stylus*. Este último exemplo consiste numa caneta para a introdução e manipulação de dados em dispositivos de ecrã sensível ao toque.

Modelação Explícita, os dispositivos de manipulação de dados assumem-se como uma extensão da mão, criando mimetismos virtuais das operações realizadas por ferramentas analógicas de modelação. Estes *softwares* recorrem a sistemas baseados nos princípios da tecnologia Voxel,³⁷ permitindo a modelação de volumes geométricos de diversas primitivas – como esferas e poliedros – que se assemelham a objetos de matéria moldável. Estes programas são utilizados na modelação de figuras humanas, figuras zoomórficas e, por exemplo, figuras do imaginário fantástico e da ficção científica, sendo largamente aplicados na indústria cinematográfica.

No próximo capítulo desta investigação, procuraremos proceder à exploração de outras particularidades e aplicabilidades destes tipos de *softwares*, assim como a referenciação dos exemplos mais significativos que podemos encontrar nesta área.

Relativamente aos processos de exportação de dados obtidos através de programas de 3D CAD, podemos enunciar uma vasta tipologia disponível para este fim; com o recurso a estes *softwares* torna-se comum combinar a fase de construção das volumetrias iniciais com a fase de tratamento das mesmas.

Todavia, e de acordo com as finalidades pretendidas, o modelo executado num determinado *software* poderá ser exportado para outro que disponibilize diferentes aplicabilidades. Como pudemos apontar, para além de formatos de acesso comum por parte da maioria destes programas (e.g. Wavefront OBJ, STL, X3D, PLY, DXF, VRML, entre outros), existem extensões específicas que possuem informações particulares de diferentes parâmetros de informação e que são acedidas apenas por um tipo de *software*.

³⁷ Voxel (*volume pixel*).

O Voxel pode ser descrito como um pixel 3D, consistindo num elemento 3D pertencente a uma malha de superfície gerada pela agregação de outros elementos homónimos, contendo informações geométricas, lumínicas e texturais. O Voxel assume valores posicionais relativos inferidos pelos elementos adjacentes, prescindindo de valores ortonormados de espaços de referência cartesiana. Esta característica resulta num processo de modelação 3D que permite a edição de malhas não homogéneas de superfície.

Como exemplo da evolução deste sistema podemos apontar o caso do Pixel, utilizado no programa de modelação 3D escultórica ZBrush.

No entanto, a grande maioria dos programas de 3D CAD possuem sistemas de conversão de extensões importadas que permitem a leitura de formatos não nativos dentro da sua plataforma.

Algumas extensões agregam apenas informação relativa à geometria das malhas de superfície 3D e respetivas referências de localização espacial; outras assumem também as informações referentes aos mapas de texturas e respetivos comportamentos para a renderização. Na verdade, podemos encontrar uma vasta panóplia de soluções para exportarmos ficheiros entre diferentes aplicações e programas de 3D e, correndo o risco de pretermos alguns exemplos significativos, não se justifica procedermos à sua análise exaustiva nesta investigação. Aliás, como particularidade evidente da Cultura Digital, podemos facilmente recorrer a fontes específicas para este assunto.

Apesar deste facto – partindo de um cenário em que o modelo digital fica concluído na fase de construção, não requerendo tratamentos detalhados de superfície e texturas, e cuja finalidade se destina, por exemplo, à impressão 3D – as extensões mais utilizadas são as .stl e .obj.

Como poderemos analisar mais à frente, estas extensões têm grande aplicabilidade na criação dos códigos para os dispositivos de prototipagem rápida, servindo de referência para o fatiamento do modelo 3D a imprimir.

4.3.

Bases de Dados Digitais

Devido ao rápido desenvolvimento e evolução da *internet*, atualmente podemos aceder a um vasto leque de produtos e informações disponibilizados *on-line*, tendo em vista as mais diversas finalidades. Os motores de busca são um exemplo paradigmático desta realidade, permitindo, em frações de segundos, o acesso a qualquer tema, sob diversos tipos de formato digital (e.g. texto, imagem, vídeo).

Numa perspetiva idêntica, surgiram as chamadas bases de dados – também conhecidas como repositórios digitais³⁸ – consubstanciando informações e produtos específicos relativos ao universo de uma temática comum, armazenados de uma forma organizada em diferentes formatos digitais. Estas bases de dados digitais promovem uma maior visibilidade e preservação das produções e dados que congregam.

As vantagens da utilização das bases de dados assumem novas formas de trabalho e de partilha, criando novos paradigmas na prática das artes plásticas; a saber:

- Ausência de fronteiras geográficas;
- Disponibilidade permanente;
- Múltiplos acessos;
- Acesso estruturado aos conteúdos;
- Recuperação de informação;
- Conservação e preservação;
- *Networking*;³⁹
- Custos reduzidos.

³⁸ Repositórios Digitais ou Bases de Dados *on-line*.

Repositórios digitais são coleções de informação digital, que podem ser construídas de diferentes formas e com diferentes propósitos. Podem ser colaborativos e com um controlo suave dos conteúdos e da autoridade dos documentos, tal como as dirigidas para o público em geral (a Wikipedia é um exemplo). Os repositórios digitais emergiram no contexto da universidade e relacionaram-se com a introdução do Open Access à literatura científica.

³⁹ Networking.

Trabalho em rede. Refere-se à partilha e reestruturação de diferentes fases de um projeto realizado *on-line*.

Além dos diferentes processos de digitalização 3D e da construção de raiz de um modelo digital através de *software* 3D CAD, podemos encontrar bases de dados que permitem a obtenção de modelos previamente realizados (Evans, 2012; Horvath, 2014; e Hauseman & Horne, 2014).

«Outra fonte de objetos de possível impressão 3D pode ser encontrada nos vários repositórios de dados na *Internet*. Os utilizadores destes repositórios fazem o *upload* de modelos por várias razões – para fins pedagógicos, expressões artísticas, ou mesmo distribuição dos elementos funcionais como os componentes necessários para a construção de uma nova impressora 3D. Equiparado ao popular “Maker Movement”, muitos destes repositórios apoiam projetos de *open-source* e modelos de distribuição livre, onde as morfologias de derivados de objetos encontram os seus ecos na génese da sua estrutura formal».⁴⁰

(tradução nossa).

A disseminação deste tipo de repositórios de dados teve a sua origem com o aparecimento massificado da impressão 3D, disponibilizando modelos digitais de vários tipos para posterior impressão. Como pudemos observar, estes modelos são realizados por elementos pertencentes a diversas «comunidades» de prototipagem rápida que disponibilizam os seus produtos *on-line* – por vezes com custos acrescidos – de forma a poderem ser utilizados por outros membros para diversos fins.

Para além da utilização destes modelos na impressão 3D, podemos alterar a sua estrutura, permitindo assim a diversificação de resultados obtidos a partir de um referente base. Recorrendo a *software* de 3D CAD podemos, inclusive, combinar vários

⁴⁰ «Another source for 3D-printable objects can be found at the many community repositories on the Internet. Users of these repositories upload models for a variety of reasons – for educational purposes, say, or artistic expression, or even to distribute functional parts like the components used to build a new 3D printer. Closely coupled with the so-called “Maker Movement,” many of these repositories support open-source designs and shared licensing models where derivatives of object designs can trace their pedigree back to the original designer with pride».

(Hauseman & Horne, 96; 2014).

modelos digitais, ou partes dos mesmos, de modo a criarmos alternativas formais e plásticas, num processo similar aos tradicionais cortes e colagens das áreas da pintura e, por exemplo, do *design* gráfico. Posteriormente a estes procedimentos, podemos então utilizar o novo modelo 3D para aplicações de âmbito virtual ou para a sua impressão em 3D.

As diferentes bases de dados digitais, relativas às áreas das tecnologias e meios que temos vindo a observar, disponibilizam diferentes valências com aplicações em diversos âmbitos; assim, desde o acesso a diversos tipos de *software* (e.g. fotogrametria; reparação de malhas 3D, 3D CAD e 3D CAM), fóruns, instruções de utilização e modelos 3D de componentes para a construção de variados dispositivos – através de prototipagem rápida – é possível a introdução e a aprendizagem neste universo sem grandes dificuldades.

De seguida, apresentamos uma relação de algumas bases de dados digitais que, em nosso entender, agrupa as mais significativas para a esfera da temática desta investigação.

4.3.1.

Relação de Bases de Dados

- **Thingiverse**

Esta base de dados foi criada nos Estados Unidos da América em 2008, e dedica-se à partilha de ficheiros 3D criados por utilizadores pertencentes a esta comunidade. Os produtos partilhados encontram-se maioritariamente sob a forma de *Open-source* e abrangem as áreas de projetos de *hardware* referentes à prototipagem rápida (e.g. impressoras 3D, máquinas de CNC *milling*, *plotters* de

corte a laser, entre outros) e modelos digitais para impressão. Este repositório é amplamente utilizada pelas comunidades DIY e *Maker*.⁴¹

▪ **Trimble 3D Warehouse**

A 3D Warehouse foi criada em 2006 pela empresa Google e consiste numa base de dados disponíveis para a partilha de modelos 3D criados no *software* SketchUp de 3D CAD. Tem como finalidade principal a disponibilização de modelos para aplicação em projetos realizados neste programa;⁴² recorrendo a um repositório de diferentes temáticas, torna-se possível complementar o projeto com elementos 3D previamente realizados por outros utilizadores. Estes modelos podem, igualmente, ser reeditados de modo a alterar a sua estrutura e respetivas texturas.

▪ **Autodesk 123D**

A Autodesk 123D consiste num conceito de comunidade *on-line* abrangente que permite a disponibilização e respetiva partilha de uma miríade de aplicativos e modelos referentes ao universo do 3D; tendo como base um pacote de diversos *softwares*, os membros desta comunidade têm a possibilidade de empreender diferentes projetos nas áreas da digitalização 3D, fotogrametria, edição e reparação de malhas de superfície, construção e modelação de objetos 3D, escultura digital, edição de imagem, criação de mapas de textura e, por fim, na área da impressão 3D. Estes programas têm a particularidade de se associarem entre si, criando processos de execução mais rápidos e eficazes; além destas

⁴¹ As comunidades *Maker* consubstanciam-se como uma forma de subcultura digital contemporânea que emergiu dos movimentos DIY; orientam a sua atividade para as áreas da manufatura digital de diversos dispositivos eletrónicos, robótica e *hardware* digital, prescindindo da mediação de mão-de-obra contratada. O campo da prototipagem rápida assume-se como um dos domínios de estudo e desenvolvimento destas comunidades. Como exemplo, podemos referir a disseminação particular e institucional dos Fab Labs.

⁴² Os tipos de modelos distribuídos pela Trimble 3D Warehouse abrangem, entre outras, as seguintes categorias: esculturas, monumentos, edifícios e elementos arquitetónicos, figuras humanas e animais, árvores, veículos, equipamento urbano e doméstico.

características, este repositório oferece a possibilidade de partilha de modelos 3D para diversos fins ou posterior reedição.

- **Sketchfab**

Criada em Paris, no ano de 2012, esta base de dados permite a distribuição e partilha de produtos 3D; orientado para o desenvolvimento de aplicações de visualização de elementos 3D interativos, em diversas plataformas (como páginas da *internet*, Facebook e dispositivos móveis), o Sketchfab permite ainda a distribuição de ficheiros 3D para aplicação no âmbito das tecnologias de impressão 3D.

Após a conclusão desta análise, acreditamos que é vital a divulgação e orientação no uso destes repositórios de dados aos nossos alunos, uma vez que, a *internet* assume-se como um processo de aprendizagem paralela que, devido à ausência, nesse contexto, do docente, pode originar resultados menos desejáveis.

Por outro lado, não podíamos deixar de fazer referência à relevância que as bases de dados encontram no campo profissional da escultura. Agregando valiosas informações e um vasto conjunto de saberes e de aplicabilidades, concorrem assim para a exploração de novas fronteiras na prática escultórica contemporânea, revelando-se como importantes referências para o escultor.

CAPÍTULO 5.

TRATAMENTO DE DADOS

O estudo desenvolvido no capítulo anterior permitiu observarmos os diferentes processos passíveis de aplicar aos diversos procedimentos relativos à captura de dados de um referente físico de forma a obtermos um modelo 3D do mesmo. Com base no decurso metodológico para a realização de uma obra escultórica digital (i.e. aquisição; tratamento e aplicação), observámos as tecnologias e meios mais significativos para a execução desta fase. Como pudemos notar, o estágio inicial caracteriza-se pela obtenção de um produto em “bruto” que, necessariamente, terá de ser tratado devido às irregularidades particulares desta fase primária.

No presente capítulo, procuraremos explorar os diferentes estágios e meios que, em nosso entender, se assumem como os mais indicados para os processos de reparação, edição e acabamento do modelo digital obtido, tendo em vista as possíveis aplicações a que este se destina.

Devemos, no entanto, assinalar que os decursos das fases de tratamento de dados constituem-se por fronteiras muito ténues, fundindo-se muitas vezes os diferentes estágios inerentes aos seus desenvolvimentos assim como os métodos relativos à criação de um modelo com recurso a programas de 3D CAD.

Tencionamos com isto assumir uma clara distinção entre as atitudes concetuais das fases de estudos prévios, contrastando com as fases posteriores de desenvolvimento e tratamento, uma vez que os meios utilizados podem consistir nos mesmos.

Deste modo, como podemos facilmente depreender, interessa realçar que os processos de tratamento dos dados obtidos têm necessariamente de recorrer a *softwares* específicos para este fim; independentemente das possíveis origens do modelo 3D (e.g. Digitalização 3D, construção em 3D CAD ou Bases de Dados), a informação obtida encontra-se sob a forma de um ficheiro digital que, regra geral, terá de ser editado com programas de 3D CAD.

5.1.

Fases de Tratamento de Dados

O processo de tratamento de dados pode ser considerado como uma das fases metodológicas mais exigentes para a realização de uma obra escultórica digital, visto que a etapa anterior refere-se essencialmente à tomada de referências iniciais de diversas ordens (i.e. volumetria, estrutura, textura), de modo a conceber um esboço conducente a um prosseguimento subsequente. Deste modo, este método também pode ser denominado de fase de desenvolvimento formal.

Por outro lado, a fase posterior – aplicação de dados – relaciona-se com o desenvolvimento de procedimentos respeitantes às áreas da pós-produção, resultando assim no produto final que se pretende. Assim, podemos depreender que grande parte do desenvolvimento dos processos criativos encontra, na fase a que nos referimos, o palco para a tomada de opções plásticas e compositivas por parte do escultor.

Segundo diversos autores (Dollens, 2002; Gleiniger & Vrachliotis, 2008; Paul, 2008, entre muitos outros), a produção das distintas manifestações artísticas digitais da contemporaneidade assume a aplicação dos meios tecnológicos como veículo para experimentações simultâneas que, de um modo sistémico, resultam na construção da forma final da obra plástica.

«O potencial do trabalho no mundo digital, onde todos os projetos tridimensionais estão contidos num espaço de dados codificados - todos os ângulos, pontos de vista, materiais, luzes, dimensões, tamanho, localização, etc. – é como uma extensão da visualização, tal como um enlace com a cognição do *designer*»

[...]

«O que pretendo afirmar neste momento é que a produção digital é mais do que uma ferramenta e deve ser considerada, pelo menos, como uma ajuda para a investigação. (...) Hoje em dia, a produção digital é parte do processo evolutivo do pensamento e das formas para muitos *designers*».⁴³
(tradução nossa).

Dollens (*Op. Cit.*) refere ainda a importância do modo como o espaço digital, e respetivos elementos que o ocupam, promovem o desenvolvimento de um projeto permitindo a articulação de laços entre o mundo físico e o mundo virtual, de forma a criar um diálogo conducente a um estudo analítico dos dois territórios.

Assim, recorrendo às teorias de McCullough (1998), Dollens estrutura uma dimensão para o pensamento do projeto em que o espaço virtual consubstancia-se como um cenário onde se torna possível a promessa da visualização de estruturas simbólicas abstratas como imagens físicas, ao fazermos coincidir as construções digitais com os poderes abstratos do pensamento visual.

⁴³ «El potencial de trabajo en un mundo digital, donde todo un proyecto tridimensional está contenido en un espacio de datos codificado – todos los ángulos, vistas, materiales, luces, dimensiones, lugar, etc. – es como una extensión de la visualización, como un enlace con la cognición del proyectista».

(...)

«Lo que sustengo a estas alturas es que la producción digital es más que una herramienta y debería considerarse, al menos, como una ayuda para la investigación. (...) Hoy en día, la producción digital es parte del proceso evolutivo del pensamiento y de las formas para muchos proyectistas».

(Dollens, 14; 2002).

«O espaço virtual converte-se num cenário para a especulação e reflexão, para ensaiar, deformar, envolver, dar forma e animar sequências espaciais que, de outra forma permaneceriam imagens gráficas estáticas. Através de sua natureza líquida, o espaço digital converte-se num colaborador para o desenvolvimento de ideias e formas, e não apenas num hóspede passivo de formas pré-concebidas ou de formatos de dados do software recomendado. O espaço digital torna-se correspondente e professor».⁴⁴

(tradução nossa).

A partir destes aspetos, podemos inferir a pertinência do trabalho desenvolvido durante a fase de tratamento de dados, uma vez que se constitui como a base para a prática de novos modos de criação artística, assim como de um meio alternativo para a sua produção.

As diferentes fases de tratamento de dados do modelo 3D integram valências distintas e específicas que se encontram diretamente relacionadas com os níveis de aprofundamento aplicado e, naturalmente, exigido. Por vezes, o rigor das geometrias obtidas é de tal forma perfeito que o processo de tratamento requer apenas pequenos apontamentos, contrastando com situações em que o modelo digital apresenta irregularidades – embora com a prévia aplicação de *softwares* de reparação de malhas – que implicam um tratamento mais apurado das volumetrias.

Embora tenha sido realizada uma consulta extensiva das diversas referências bibliográficas desta especialidade, não se encontrou qualquer alusão que permitisse clarificar as fases distintas que agregam os processos de tratamento de dados. Assim, e tomando como referência a nossa experiência pessoal e profissional, optámos por

⁴⁴ «El espacio virtual se convierte en un escenario para la especulación y la reflexión, para ensayar, deformar, envolver, dar forma y animar secuencias espaciales que, de otro modo, permanecerían como imágenes gráficas estáticas. A través de su naturaleza líquida, el espacio digital se convierte en un colaborador del desarrollo de ideas y formas, no sólo en un huésped pasivo de formas preconcebidas o de formatos de datos del *software* recomendado. El espacio digital se convierte en corresponsal y profesor».

(Dollens, 17; 2002).

propor uma distinção para as seguintes fases que, em nosso entender, implicam o decurso das metodologias comuns relativas à realização destes métodos. São elas as seguintes:

- Fase de Refinamento;
- Fase de Modificação;
- Fase de Modelação.

Interessa realçar que os diferentes estágios acima assinalados não fazem, necessariamente, parte de um mesmo processo metodológico a seguir; são, aliás, fases independentes entre si, consubstanciando-se como soluções a empregar para o tratamento e processamento dos dados de um modelo digitalizado em que não há a necessidade de as percorrer na sua totalidade.

5.1.1.

Fase de Refinamento

Como apontámos, o método de refinamento respeita um tratamento primário do modelo 3D obtido, partindo do princípio que os resultados conseguidos apresentam grande rigor em relação às volumetrias do referente físico ou que o processo de construção em 3D CAD seja o bastante (i.e. construção de volumetrias de geometria simples, como por exemplo sólidos primitivos) para a aplicação em qualquer tipo de finalidade.

Como podemos deduzir, o refinamento não tem grande relevância nos processos criativos de uma obra escultórica, uma vez que estes aspetos podem ser tratados a

jusante desta fase. Embora este estágio implique pouco tratamento formal, não significa, por isso, que possa ser realizado com recurso a programas básicos de 3D CAD; aferir tolerâncias de informações paramétricas pode revelar-se uma árdua tarefa, tendo em vista a obtenção de elevados graus de rigor durante o tratamento do modelo digitalizado.

Este facto pode facilmente ser constatado quando pretendemos apurar volumetrias de modelos de um conjunto específico de componentes para serem construídos com recurso a processos industriais ou pelas soluções das áreas da prototipagem rápida.⁴⁵

5.1.2.

Fase de Modificação

A modificação de um modelo 3D pode ser entendida como um procedimento em que se alteram as estruturas volumétricas previamente estabelecidas de modo a obtermos um resultado formal que resulta na combinação de elementos distintos; nesta fase, é comum observarmos a agregação de diferentes partes de modelos 3D que se constituem como um único objeto digital na fase final do tratamento volumétrico.

Através de técnicas digitais específicas, podemos eleger um processo semelhante ao da colagem, que permite a associação de fragmentos que concorrem para um corpo comum; as origens destes blocos parcelares podem resultar de diferentes sistemas de aquisição de dados,⁴⁶ pois que a informação contida nos vários ficheiros 3D é da mesma

⁴⁵ As áreas da indústria aplicadas à produção escultórica (e.g. metalomecânica, carpintaria, fundição, entre outras) requerem níveis de tolerância de rigor relativamente elevados para a fabricação e montagem dos componentes que agregam a escultura, assim como de moldes; atualmente os desenhos de projeto destes elementos são realizados, muitas das vezes, com o recurso a programas de 2D ou de 3D CAD, implicando a introdução rigorosa das dimensões pretendidas de modo a obtermos uma cotação precisa. De igual forma, embora recorrendo a tecnologias diferentes, os processos de prototipagem rápida implicam o mesmo tipo de requisitos – quer ao nível do projeto como ao nível da construção.

⁴⁶ Os fragmentos a que nos referimos podem ter a sua origem nos processos de digitalização 3D – *scanners* 3D e fotogrametria – ou em arquivos digitais.

tipologia (i.e. dados digitais com extensões que permitem o seu intercâmbio dentro do mesmo programa de 3D).

Este tipo de operações é característico dos diversos processos de criação digital (e.g. criação artística digital), em que, recorrendo a remasterizações da informação original, podemos criar novas soluções visto que o meio em questão é o mesmo. Consequentemente, a criação nas áreas da Escultura Digital testemunha a aplicação destes métodos como uma solução metodológica empregue por diversos autores, dando lugar a permutas formais e interpretações plásticas de referentes comuns.

5.1.3.

Fase de Modelação

A fase de modelação é relativa a processos que implicam um tratamento de superfícies de modo a criar um modelo digital com maior rigor formal. O âmbito da modelação nos programas de 3D CAD não se refere, necessariamente, a uma analogia aos processos tradicionais de modelação de matérias físicas;⁴⁷ a modelação 3D abrange um conceito que implica as alterações volumétricas de um modelo 3D, com o objetivo de atribuir mais pormenores à sua geometria, respeitando, no entanto, a sua estrutura original.

Esta fase pode ser aplicada a modelos digitais de malhas orgânicas, assim como a modelos de primitivas geométricas,⁴⁸ recorrendo a operações específicas que permitem alterações operadas, de um modo progressivo, a diversos níveis de rigor: ou seja, a complexidade da superfície é alterada de acordo com uma metodologia que

⁴⁷ Entenda-se matérias físicas como aquelas que contrastam com as superfícies digitais, também denominadas de superfícies ou formas virtuais.

⁴⁸ Podemos apontar como exemplo da pormenorização de primitivas geométricas os processos de extorsão ou vazamento de figuras planas pertencentes a uma face de um modelo 3D (e.g. construção de janelas numa fachada plana).

implica modificações graduais na densidade da malha do objeto, permitindo alterações morfológicas de paridade sequencial.

Deste modo, a fase de modelação contém um histórico operativo que pode ser alterado, em qualquer estágio do processo, disponibilizando uma articulação de soluções a desenvolver. De uma maneira geral, o modelo 3D inicial é trabalhado a partir de um estado em «bruto» – obtido na fase de aquisição de dados – sendo posteriormente modelado até se atingir o nível de pormenor pretendido.

Refira-se que as diferentes fases assinaladas não encontram relação direta com as especificidades dos diversos *softwares* que podemos utilizar, não existindo assim um denominador comum para a escolha do programa de 3D CAD a empregar. Cabe ao utilizador, mais propriamente ao escultor, optar pelo uso de um *software* com o qual tenha mais facilidade e que, naturalmente, permita a realização das operações exigidas.

Para este efeito, torna-se conveniente apresentarmos uma tipologia destes programas, as suas respetivas aplicabilidades e finalidades, assim como uma breve contextualização histórica da sua evolução.

5.2.

Contextualização dos Programas de 3D CAD

Presentemente, os programas de 3D CAD são utilizados nas mais diversas áreas da computação gráfica⁴⁹ para a realização de projetos e desenhos relativos a uma vasta gama de produtos; os diferentes aplicativos informáticos referentes ao âmbito do 3D CAD consistiam, ainda há bem pouco tempo, nas soluções mais usuais para as várias

⁴⁹ A Computação Gráfica refere-se ao ramo das aplicações informáticas que recorrem a um conjunto de métodos e técnicas de modo a converterem os dados em imagens que são acedidas através de dispositivos gráficos (i.g. ecrãs de dispositivos fixos, portáteis, móveis, entre outros). As imagens são geradas por processamento digital e o seu resultado é traduzido sob a forma de *pixels* – *Picture Element*: é o elemento mínimo de uma imagem em que é possível atribuir parâmetros.

fases de desenvolvimento de um projeto, assumindo tarefas que atualmente podem ser realizadas através de outros sistemas.⁵⁰

O universo de aplicação destes programas abrange as áreas mais variadas que possamos imaginar; algumas delas estão diretamente ligadas à sua história e desenvolvimento, constituindo-se como um processo contínuo para a resolução de soluções referentes às mais variadas exigências e necessidades da sociedade.

Hoje em dia, estes programas estão presentes nas áreas da indústria (e.g. militar, aeronáutica, naval, automóvel, cultural, entre outras), na área da arquitetura e do *design*, no ramo do ensino e aprendizagem, no campo da investigação e ciência e, logicamente, no universo da Arte Contemporânea.

Como podemos deduzir, a esfera de aplicabilidade dos *softwares* de 3D CAD estende-se de um modo incomensurável pelos vários setores da nossa sociedade, ficando ainda por referir muitos domínios que acabámos de omitir nas linhas acima. No entanto podemos encontrar algumas diretrizes comuns aos diferentes tipos destes programas; como um derivado do campo da computação gráfica, os *softwares* de 3D CAD – que resultam da evolução dos programas de 2D CAD – têm como finalidade a realização de uma imagem em 2D que representa as características tridimensionais de um referente físico- sob a forma de um modelo 3D representado numa imagem 2,5 D.

Os processos de representação utilizados pelos *softwares* de 2D e de 3D CAD têm a sua origem nos sistemas gráficos empregues nos desenhos de projeto de engenharia moderna; por seu lado, este tipo de representação gráfica foi desenvolvido através dos progressos observados nos trabalhos de René Descartes (1596-1650) e de Gaspard Monge (1746-1818), tendo este último, como é sabido, contribuído substancialmente para a evolução e sistematização da Geometria Descritiva.

⁵⁰ O recurso às tecnologias de digitalização 3D e de fotogrametria, assim como o acesso às bases de dados de modelos digitais só recentemente se tornaram disseminadas para o público em geral, permitindo a redução substancial dos custos e do tempo despendido inerentes a estes procedimentos. Como observámos, a utilização dos dispositivos de digitalização implicava grandes custos já que a realização destes processos era disponibilizada por empresas especializadas, o que obrigava a um dispêndio considerável de tempo, de produção e de recursos financeiros.

A importância desta disciplina nos diversos processos de representação gráfica prende-se com as particularidades que enformam a sua génese e finalidade, uma vez que pode ser caracterizada como uma ciência exata que se ocupa do estudo da representação bidimensional das características tridimensionais dos mais variados elementos geométricos – a representação no plano das formas no espaço.

É um meio de representar de forma bidimensional a realidade tridimensional que nos envolve, baseado na necessidade de ter presente as propriedades métricas dos objetos representados e com a finalidade de poder atuar sobre uma série de operações de construção, projeto, manipulação, montagem, deslocações, localizações, entre outras, que dizem respeito à relação operativa de transformação concreta em que se baseia a contínua interação do homem com o seu ambiente.

Podemos assim depreender que a Geometria Descritiva se presta, dada a natureza do seu objeto, ao desenvolvimento das capacidades de ver, perceber, organizar e catalogar o espaço envolvente, propiciando instrumentos específicos para o trabalhar – em desenho – ou para criar novos objetos ou mesmo novas *realidades*.

Sendo essencial a áreas disciplinares onde é indispensável o tratamento e representação do espaço – como a arquitetura, a engenharia, as artes plásticas ou o *design* – a sua importância faz-se sentir também ao nível do desenvolvimento das capacidades de operacionalização lógico-espacial e de abstração, servindo, de uma forma bidirecional, de mediadora entre uma realidade concreta e empírica para a conceptualização de formação de conceitos abstratos.

Durante a Revolução Industrial estes sistemas de representação observaram uma utilização massificada, tendo em vista as particularidades exigidas, com o recurso às metodologias de projeto, de modo a suprir as necessidades da indústria. No entanto, os desenvolvimentos nesta área testemunharam pequenas alterações relativas às normas

gráficas utilizadas nos desenhos de maquinaria e produtos, aplicando, ainda na época, alguns padrões de representação formulados no Século XV.⁵¹

Até meados do século passado, os sistemas de representação gráfica referentes à engenharia moderna permitiram a introdução de dispositivos de desenho (e.g. estiradores com máquina de desenho acoplada) que, ao agregarem diferentes componentes – como por exemplo a régua T, esquadros, régua de escalas e transferidor, entre outros –, permitiam a implementação de rotinas metodológicas que reduziam substancialmente o tempo de execução de um projeto.

As tecnologias empregues nas áreas do Desenho Assistido por Computador (CAD) permitiram a introdução de novos paradigmas nos processos de representação gráfica no âmbito do desenho de projeto; embora seja evidente a utilização de novos meios tecnológicos, a principal alteração foi operada ao nível da concetualização da prática da disciplina do desenho e dos processos que a caracterizam.

Com o recurso ao computador – assumindo-se como um *medium* e/ou como uma ferramenta – alterou-se o *modus operandi* de toda uma tradição dedicada à representação através do desenho. É legítimo depreendermos que, pela primeira vez na história da criação de imagens gráficas, o computador abriu novos caminhos no modo de pensar e de estruturar um projeto; com o recurso aos programas de CAD, conquistámos a possibilidade de empreender compromissos concetuais de um modo inovador, descartando limitações impostas às áreas das alterações estruturais de um projeto, do seu tempo de execução, da partilha do trabalho e da sua disseminação global.⁵²

⁵¹ Em 1435 Leon Battista Alberti elaborou um conjunto de normas e propostas para a inclusão de um maior número de representações de geometrias Euclidianas nos desenhos arquitetónicos da época, chamando a atenção para a necessidade de representar várias vistas do mesmo objeto nos projetos, de modo a proporcionarem uma compreensão mais clara e rigorosa (Lefèvere, 2004).

⁵² A utilização dos programas de 2D e 3D CAD veio permitir a implementação de uma metodologia de trabalho baseada na partilha e desenvolvimentos de estágios de uma forma síncrona. As alterações efetuadas no projeto podem ser acedidas, em tempo real, por qualquer elemento pertencente a uma equipa – independentemente da sua localização geográfica – podendo assim realizar as respetivas modificações pretendidas de modo a atualizar as diversas fases de desenvolvimento.

Por outro lado, como já fizemos referência, o recurso a estes *softwares* permitiu evidenciar a adoção paradigmática de novas formas de “fazer”, ao assumir-se como laboratório experimental para a criação de múltiplas soluções para um mesmo objetivo, possibilitando a criação de inúmeras propostas nos diferentes estágios do processo projetual, podendo inclusive conduzir à criação de obras distintas daquela que se trabalha no momento.

5.3.

Visualização e Representação em 3D

A capacidade de representação e visualização no campo do projeto artístico, arquitetónico e do *design*, tem, ao longo da história, ditado limites conceptuais, técnicos, estéticos e expressivos na proficiência do artista plástico. Como docentes do domínio artístico, não podemos descurar esta realidade; infelizmente deparamo-nos muitas vezes com situações em que a incapacidade de comunicação gráfica de uma ideia resulta num projeto deficiente a diferentes níveis; a excelência da representação no âmbito do desenho artístico não significa, em muitos casos, a clareza e sistematização adequadas à elaboração cuidada e clara da sintaxe do desenho de projeto e do desenho técnico.

Verificamos, deste modo, que este tipo de incompetência acaba por revelar soluções parciais, ingénuas e, de certo modo, inadequadas na expectativa do processo concetual do aluno, promovendo uma certa desilusão, a jusante e a montante, dos resultados plásticos e técnicos pretendidos.

Naturalmente que não nos cabe a tarefa de analisar e avaliar as causas sistémicas conducentes a esta realidade nesta investigação, mas, sem querermos tornar estas páginas num exercício de catarse para a enunciação de culpas, podemos levantar algumas questões.

Como referimos, exercemos igualmente a lecionação da disciplina de Geometria Descritiva nos diferentes cursos das licenciaturas ministradas na Faculdade de Belas-Artes de Lisboa, tendo assim a possibilidade de observar as carências demonstradas pelos alunos no que se refere aos processos de desenvolvimento das diferentes fases de um projeto; sem querermos elaborar uma apologia sobre a introdução dos meios digitais e tecnologias de informação no ensino, constatámos que a utilização destes recursos acabou por revelar-se numa metodologia didática conducente a excelentes resultados relativamente aos processos de visualização, compreensão espacial e representação nas áreas da Geometria Descritiva, em geral, e no desenvolvimento do projeto artístico, em particular (Revez; 2006).

Os aspetos da visualização e representação em 3D referem-se aos processos empregues no âmbito da utilização de *softwares* de CAD – 2D e 3D – de modo a conseguir elaborar a reprodução de uma realidade pretendida num ambiente virtual; estas imagens podem ser acedidas em diversos dispositivos de visualização⁵³ que permitem ao utilizador diferentes graus de imersividade.

Importa referir que no capítulo seguinte iremos abordar mais detalhadamente a temática da Realidade Virtual, assim como os diferentes níveis de imersividade que a estruturam, prescindindo, por agora, da necessidade de aprofundarmos alguns aspetos relevantes inerentes a este assunto.

No entanto, torna-se necessária a clarificação de alguns conceitos, de modo a compreendermos melhor de que forma é feita a utilização de alguns termos nesta fase de estudo. Assim, segundo Whyte (2002), as referências feitas à Realidade Virtual compreendem áreas tão distintas como as aplicadas aos diversos ramos da indústria, da arquitetura e urbanismo, do *design*, dos estudos populacionais, das agências governamentais e dos estudos de visualização científica.

⁵³ Os dispositivos de visualização abrangem um leque variado de tipologias. A título de exemplo podemos referir os ecrãs de computadores, os televisores, os ecrãs de dispositivos móveis e, entre outros, os dispositivos HMD – *Head Mounted Display*.

De acordo com este autor, a Realidade Virtual é usada para fazer referências às diversas aplicações com as quais podemos interagir com informação espacial em tempo real; como alternativas, podemos encontrar outras denominações para este conceito, como por exemplo Ambientes Virtuais, 3D Interativo (i3D), Simulação Espacial, Simulação Visual e 4D CAD.

De qualquer forma, os diferentes nomes utilizados referem-se a processos de manipulação de dados e “diálogo” entre o Homem e a Máquina (computador) através dos sistemas de GUI – Interface Gráfica do Utilizador ou *Graphical User Interface* – permitindo a criação de estruturas abstratas que encontram ecos equivalentes em ambientes reais, dando lugar a explorações conceituais que, através de outros meios, seriam impossíveis de realizar (Whyte, *Op. cit.*).

A Realidade Virtual assume-se como um processo que deve ser encarado segundo dois pontos de vista: por um lado deve ser observado como um *medium*, como uma forma de expressão através da representação e reprodução de ambientes imateriais em que o foco é dirigido para a visualização e imersão; por outro lado, a Realidade Virtual pode também ser notada como um conjunto de processos tecnológicos e de dispositivos – *hardwares* e *softwares* – que permitem as funcionalidades a que se destinam. Destes dois aspetos daremos conta mais tarde, embora nos interesse ter em linha de conta o primeiro ponto de vista referido para os processos de visualização e representação em 3D.

Consubstanciando-se como um *medium*, a Realidade Virtual tem como principal finalidade a representação de formas, de estruturas e de ambientes virtuais, que têm como particularidades inerentes a interatividade, a visualização espacial e a resposta em tempo real às ações empreendidas.⁵⁴ Podemos assim depreender que o processo

⁵⁴ Estas três particularidades são enunciadas como características dominantes da representação virtual através dos programas de 3D CAD. Deste modo, a interatividade diz respeito à possibilidade de interação entre o utilizador e as estruturas representadas, podendo efetuar alterações de diversas ordens aos valores paramétricos das geometrias em questão, assim como a possibilidade de eleger diferentes pontos de vista da sua representação. A visualização espacial refere-se aos processos de representação de três dimensões espaciais traduzidas em formas 3D. Por fim, a resposta em tempo real refere-se ao *feedback* imediato observado nos modelos 3D decorrentes das ações empreendidas pelo utilizador.

empregue para a representação através de programas de 3D CAD deve ser considerado como um sistema de Realidade Virtual, uma vez que assume as características que temos vindo a referir.

Porém, ao considerarmos o 3D CAD como um meio de representação, devemos ter em atenção alguns aspetos específicos que, em nosso entender, encontram relevância no uso destes aplicativos. Embora o uso deste tipo de programas permita o emprego de processos multifacetados nos domínios da representação e da visualização de estruturas espaciais, torna-se necessário desenvolver uma aprendizagem cujo foco deverá ser direcionado para os tópicos seguidamente indicados.

Por um lado, por parte do utilizador, existe a necessidade de adaptação a um meio e a uma técnica que se revelam distintos das práticas adquiridas através dos processos tradicionais de representação.

«O bom desempenho com as múltiplas formas de representação depende da nossa experiência, capacidades, estratégias e motivação (Chen e Stanney, 1999). São bastante divergentes as estratégias de compreensão das relações espaciais, bem como as próprias aptidões espaciais. Diferentes tipos de representação podem ser mais ou menos úteis e intuitivos para diferentes indivíduos e a experiência com o *medium* é um fator de peso na opinião quanto à utilidade desse mesmo instrumento. Os peritos, por exemplo, revelam ter uma grande capacidade para agregar ou armazenar informação (Simon, 1979) e utilizam mais formas de representação abstratas. Achamos mesmo que os utilizadores experientes de realidade virtual fazem uso do *medium* de forma diferente dos utilizadores com menos experiência.»⁵⁵ (tradução nossa).

Refira-se que, de acordo com os diversos aplicativos e dispositivos utilizados, as particularidades observadas não concorrem em escalas de igual valor: por exemplo, podemos utilizar um sistema virtual em que o grau de interatividade seja muito superior ao grau de resposta dado pela alteração de parâmetros de um elemento.

⁵⁵ «How well we perform with different forms of representation depends upon our experience, abilities, strategies and motivation (Chen and Stanney, 1999). People have widely divergent strategies for understanding spatial relations and widely divergent spatial capabilities. Different types of representation may be more useful and intuitive to different people, and experience with a medium is one of the key factors that affect the extent to which people will find that medium useful. Experts, for example, appear to have greater ability to aggregate or ‘chunk’ information (Simon, 1979), and use more abstract forms of representation. We may find that expert users of virtual reality use the medium in different ways than novice users». (Whyte, 2002: 29).

Depreendemos assim que deverá existir um processo de habituação ao modo de desenvolvimento concetual de um projeto realizado através destes meios. Refira-se que a partir da nossa experiência no ensino do uso destes *softwares* temos observado situações peculiares em que verificamos inúmeras lacunas ao nível operativo por parte das diferentes gerações de alunos. A familiarização com programas de diversas áreas – inclusive os de 3D CAD – revelou-se muito aquém do espectável, tendo em consideração a predisposição das presentes gerações para este tipo de realidades.

Por outro lado, o uso dos *softwares* de 3D CAD implica o conhecimento dos elementos que estruturam a sua sintaxe operativa, visto que com o seu domínio torna-se possível a realização das mais variadas operações e soluções para as finalidades pretendidas. Como a grande maioria dos programas informáticos, os *softwares* de 3D CAD adotam uma linguagem específica que assenta em elementos distintos que executam operações de vários níveis.

Deste modo, é através da combinação dos diferentes “Blocos de Construção”⁵⁶ dos sistemas de Gráficos 3D que se torna possível o desenvolvimento das diversas fases que enformam um projeto digital (Gutiérrez *et al.*; 2008). Compreendemos assim que a utilização destes programas obriga a uma “alfabetização” particular, permitindo a compreensão dos diferentes processos que decompõem um problema de índole projetual. Como Whyte defende:

«Agora já aprendemos que a realidade virtual é diferente da realidade. Embora a realidade não possa ser replicada noutro meio, pode ser abstrata e representada. No entanto, é necessária uma aprendizagem substancial para compreender representações em diferentes meios. Tal como em cinema, animação e televisão, também na realidade virtual se utiliza a linguagem dos *cuts*, *pans* e *zooms* que é necessário aprender-se, uma vez que não é experienciada no mundo real.

[...]

⁵⁶ Optámos por empregar a tradução literal do termo “Building Blocks” (Blocos de Construção) para fazermos referências aos diferentes elementos, comandos e operações empregues nos sistemas dos *softwares* de 3D CAD.

Representações da realidade são abstrações. Têm um status especial como objectos perceptuais, uma vez que foram criados para serem significativos».⁵⁷
(tradução nossa).

Assim, podemos considerar as representações gráficas como um dos principais recursos para a exploração e manipulação da informação espacial, permitindo uma antevisão de problemas e respetivas soluções. Os *media* digitais promovem o emprego de novas formas de visualização dos conceitos de espaço e de tempo; admitindo a possibilidade de construção de estruturas complexas, estes assumem-se, de modo paralelo, como um meio de criação e de especulação formal no âmbito dos processos de representação em 3D.

Consequentemente, a Realidade Virtual consubstancia-se como uma nova forma de explorar e compreender as particularidades dos novos espaços imateriais criados, ao permitir um modo dinâmico de visualização e de representação.

5.3.1.

Elementos de Construção em 3D CAD

Os diferentes Elementos de Construção que compõem os programas de 3D CAD podem ser agrupados de acordo com as seguintes categorias (Gutiérrez *et al.*; 2008):

- Elementos Matemáticos;

⁵⁷ «We are now learning about how virtual reality is different from reality. Though reality cannot be replicated in other media, it can be abstracted and represented. However, substantial learning is needed to understand representations in different media. Like film, animation and television, virtual reality uses a language of cuts, pans and zooms that has to be learnt, as it is not experienced in the real world».
[...]

«Representations of reality are abstractions. They have a special status as perceptual objects because they have been created to be meaningful».

(Whyte, 2002: 29).

- Elementos de Modelação 3D;
- Elementos de Renderização de Imagem.

- **Elementos Matemáticos**

No campo do 3D CAD, os Elementos Matemáticos dizem respeito aos sistemas de referência espacial, de coordenadas espaciais, de vetores e de matrizes de transformação. Deste modo, estes elementos consistem num conjunto de componentes que são utilizados para a representação, visualização e animação de objetos e modelos 3D.

- Sistemas de Coordenadas

Um Sistema de Coordenadas Espaciais serve para conferir referências posicionais aos diferentes elementos que se pretendem representar. Deste modo, atribuem-se determinados valores aos componentes geométricos (e.g. pontos, linhas e polígonos) de forma a gerar-se uma parametrização das distâncias relativas aos planos de referência ou ao cruzamento angular relativo a uma origem central.

A Geometria Projetiva apresenta diversos sistemas de referência espacial de modo a podermos obter a exata representação dos elementos pretendidos. De acordo com as representações que pretendemos realizar podemos, inclusive, utilizar diferentes sistemas de coordenadas no mesmo desenho, criando uma malha gráfica de permutas espaciais para o mesmo elemento.

Os Sistemas de Coordenadas mais utilizados na aplicabilidade dos programas de 3D CAD são os cartesianos e os de coordenadas esféricas ou polares. Ambos fazem referência a um espaço tridimensional Euclidiano, que permite transpor para as representações gráficas uma simulação de um espaço real.

O Sistema de Coordenadas Cartesianas atribui valores de posição espacial tendo por base as distâncias relativas a três planos de referência: plano frontal (x,z), plano horizontal (x,y) e plano de perfil (z,y), cujas interseções determinam o ponto 0 (zero) da origem do sistema.

Deste modo, através das interseções das três linhas de referência – ou linhas de chamada – obtemos a projeção do ponto que se pretende representar, tendo em consideração os valores atribuídos às grandezas de abcissa, afastamento e cota (x; y; z). Como pudemos referir, este método projetivo tem a sua origem nos processos utilizados nos sistemas de projeção cilíndrica e de projeção cônica da Geometria Descritiva. Este sistema de coordenadas é utilizado principalmente nos *softwares* de 3D CAD de engenharia inversa e nos *softwares* de modelação paramétrica.

O Sistema de Coordenadas Esféricas – denominado de Sistema de Coordenadas Polares, em representações em 2D – tem como base referencial um corpo esférico em que a determinação das projeções é obtida através de três valores: a distância à origem do referente (origem do sistema) e os valores angulares obtidos em relação a dois planos ortogonais entre si (i.e. plano equatorial e plano meridional).

Este sistema de coordenadas é específico dos programas de 3D CAD de modelação escultórica, visto que a referenciação espacial é aferida em relação à superfície a modelar, prescindindo assim de um sistema cartesiano para a determinação das projeções dos diferentes elementos no espaço. Este sistema de coordenadas é amplamente utilizado nas áreas da geografia, metrologia terrestre e oceanográfica.

A importância da referenciação espacial, no campo da representação em 3D, decorre da necessidade de atribuir valores posicionais ao elemento mínimo de representação: o ponto. Os diferentes elementos representados nestes sistemas recorrem à construção de uma malha poligonal que estrutura a forma virtual do objeto; geralmente estas malhas poligonais são constituídas por inúmeros triângulos, agregados entre si, que permitem simular as mais variadas formas e superfícies geométricas.

Deste modo, podemos depreender que a malha de superfície é constituída por inúmeras coordenadas atribuídas aos vários vértices que compõem os triângulos estruturantes de um objeto. Através dos valores parametrizados a estes componentes, torna-se possível gerar pequenas faces e representar a sua posição espacial de modo a visualizarmos a volumetria do objeto pretendido.

«Para ilustrar os princípios básicos da matemática por detrás das formas 3D, começamos com um simples triângulo. Para se representar um triângulo num computador, utilizamos o sistema de coordenadas cartesianas e três pontos no espaço para delimitar a forma – os vértices. Um vértice V é composto por três coordenadas cartesianas (v_x, v_y, v_z). Este conjunto de 3 coordenadas é um vector 3D, uma matriz de três valores, que são os componentes do vector. O triângulo pode, assim, ser definido por três vectores 3D que especificam as coordenadas de cada vértice no espaço: v_1, v_2, v_3 .

Num ambiente 3D, triângulos ou qualquer outra forma 3D podem sofrer 3 transformações básicas de coordenadas: podem ser deslocadas, rodadas ou escalonadas. Quando combinadas, estas três transformações básicas permitem-nos produzir uma grande variedade de animações, desde um simples e linear movimento até complexas trajetórias e deformações de superfície».⁵⁸
(tradução nossa).

⁵⁸ «To illustrate the basic mathematical principles behind visualization of 3D shapes, we start with a single triangle. In order to represent a triangle shape in a computer we use a Cartesian coordinate system and three points in the space to delimit the shape; we call them vertices. A vertex v is composed of three cartesian coordinates (v_x, v_y, v_z). This set of three coordinates is a 3D vector, an array of three values, which are the vector components. A triangle can thus be defined by three 3D vectors that specify the coordinates of each vertex in the space: v_1, v_2, v_3 .

In a 3D environment, triangles and any other 3D shape can suffer three basic coordinate transformations: they can be translated, rotated, or scaled. When combined, these three basic transformations allow us to produce a great variety of animation, from simple linear motion to complex trajectories and surface deformations».

(Gutiérrez *et al.*, 2008: 14).

- Sistemas de Projeção

A representação e a visualização através de programas de 3D CAD assentam essencialmente em dois Sistemas de Projeção de modo a podermos obter as projeções dos elementos geométricos que pretendemos representar: o Sistema de Projeção Paralela ou Cilíndrica e o Sistema de Projeção Central ou Cónica.

Estes processos de representação migram dos princípios projetivos da Geometria Descritiva, assumindo-se como métodos paralelos de concetualização projetual no *workflow*⁵⁹ da utilização dos *softwares* a que temos feito alusão. Como poderemos constatar mais à frente, o conhecimento dos saberes da Geometria Descritiva promove uma compreensão mais sistematizada das metodologias usadas nestes tipos de programas, evidenciando assim a pertinência do estudo desta ciência por parte dos alunos dos cursos de Escultura.

Nesta fase da investigação, importa debruçar a nossa atenção sobre algumas particularidades pertinentes que permitam esclarecer conceitos que, em nosso entender, revelam alguma inconsistência nas terminologias utilizadas no âmbito das obras consultadas sobre o 3D. Assim, optámos por tratar esta problemática neste capítulo, visto que encontra grande afinidade com as temáticas da representação e da visualização com recurso aos programas de 3D CAD, assim como com as particularidades dos sistemas de representação.

Os diferentes sistemas de projeção aplicados aos *softwares* de CAD são responsáveis pelos processos de gerar as representações (imagens) dos elementos virtuais construídos. De um modo geral, estas imagens são observadas num ecrã plano e representam as particularidades físicas dimensionais de um objeto. Embora existam outros tipos de superfícies de projeção (e.g. esféricas e cilíndricas), os processos

⁵⁹ O termo *Workflow* (Fluxo de Trabalho) refere-se aos sistemas e metodologias processuais para a utilização de diferentes *softwares*. Por vezes, a usabilidade de alguns programas é idêntica aquela que se utiliza em termos analógicos, permitindo uma fácil habituação – por parte do utilizador – à lógica de funcionamento dos mesmos.

informáticos utilizados para as transformações projetivas recorrem a planos de projeção de modo a simularem a imagem da volumetria pretendida.

De acordo com Whyte (2002), podemos enunciar três tipos de representações através dos programas de CAD: 2D, 2,5D e 3D. A letra “D” refere-se ao universo digital; assim, as representações em 2D correspondem às projeções ortogonais de elementos geométricos obtidas no *interface* gráfico do programa ou aplicativo que se utiliza para o efeito. É uma imagem digital que emprega a mesma lógica de uma representação em duas dimensões (i.e. realizada sobre papel).

A representação em 2D recorre aos processos de transformação das projeções ortogonais dos sistemas paralelos ou cilíndricos, apresentado duas ou três áreas de visualização no *interface* gráfico que correspondem às projeções frontais, horizontais e laterais dos elementos geométricos a representar. Este tipo de projeção é particularmente usada para o desenvolvimento de fases metodológicas do projeto em que existe a necessidade de conceber espaços e objetos cujas estruturas sejam predominantemente formadas por primitivas geométricas.

Este tipo de programas – 2D CAD – é amplamente utilizado nas áreas da arquitetura e na indústria do *design* de produtos, revelando-se como uma extensão dos processos tradicionais de projeto, adicionando soluções digitais que promovem novas realidades aos métodos de realização e desenvolvimento dos mesmos.

No entanto, realizando apenas representações em 2D, estes programas não permitem a construção virtual de objetos em 3D, e têm como particularidade a realização de representações estáticas cujas alterações efetuadas numa projeção não têm relação com o que se observa nas outras, servindo apenas para as fases de conceção de desenhos 2D destinados à fabricação industrial e construção, visto que segundo Whyte (*Op. Cit.*) estes tipos de representações permitem a compreensão estrutural de um ambiente – ou objeto – de um modo abrangente e imediato.

Podemos assim concluir que os diferentes tipos de representações projetivas promovem o acesso a informações distintas, explicitando particularidades diversas de acordo com as vistas elegidas. A título de exemplo, podemos apontar as vantagens do uso de uma representação ortográfica (e.g. mapa de arruamentos de uma cidade ou mapa hidrográfico) para delinear uma trajetória a seguir num determinado espaço, ao invés da utilização de uma representação perspética do mesmo cenário.

Paralelamente a este tipo de programas, podemos encontrar outras soluções que assumem diferentes sistemas de projeção no mesmo *interface*. Além das três projeções ortogonais do objeto, regra geral, estes *softwares* apresentam uma quarta área de visualização em que se observa a representação dos elementos em Perspetiva Linear Plana, baseado no Sistema de Projeção Central ou Cónica.

Deste modo, as diversas operações (e.g. de construção e de desenho) podem ser realizadas nas quatro áreas de visualização, permitindo a observação das alterações efetuadas em tempo real nas quatro projeções. Como pudemos observar, estes sistemas assumem grande relevância no campo concetual do projeto, decorrente das capacidades que imprimem aos processos de visualização e de transformação de múltiplas soluções.

Gutiérrez *et al.* (2008) mencionam ainda a importância respeitante à possibilidade da utilização de diversos sistemas de representação no mesmo *interface*, visto permitirem o acesso simultâneo a diferentes particularidades na visualização de estágios distintos do projeto, assim como na reunião de soluções mentais alternativas a empregar.

Assim, com o acesso a uma representação dinâmica do objeto,⁶⁰ podemos observar elementos que não estão representadas nas projeções ortogonais, possibilitando a apreensão formal e estrutural do referente com maior facilidade.

⁶⁰ Nos programas de 3D CAD as representações em perspetiva permitem eleger os mais variados pontos de observação do objeto, visto que as representações ortogonais são estáticas, permitindo apenas o controlo de proximidade (i.e. *zoom*) ao elemento representado e a translação do mesmo segundo direções ortogonais. A representação perspética permite assim a aplicação de um comando orbital em torno do referente, revelando a sua estrutura a partir de qualquer ponto de vista.

Em termos de representação, o Sistema de Projeção Cônica é o que permite a obtenção de imagens em Perspetiva Linear Plana no *interface* gráfico dos *softwares* de 3D CAD. Estes tipos de representações são geralmente denominadas de imagens em 3D e reproduzem graficamente as três dimensões de um objeto ou ambiente.

As matrizes de transformação projetiva aplicadas ao Sistema de Projeção Cônica, ou Central, implicam a utilização de um centro de projeção – correspondente ao Ponto de Observação ou Ponto de Vista – de modo a gerarem a representação do referente espacial. Nos programas de 3D CAD, o Ponto de Observação pode ser alterado de acordo com as necessidades de visualização do utilizador, permitindo uma sequência dinâmica na representação dos diversos elementos presentes.

Deste modo, todos os raios projetantes têm a sua origem no centro de projeção e concorrem com os vértices da malha poligonal do objeto. A interseção entre estes raios projetantes e o plano do Quadro – plano de projeção – resulta na representação da forma volumétrica em Perspetiva Linear.⁶¹

No entanto, ao consistirem em projeções centrais de um objeto sobre um plano, estas representações são, na sua essência, bidimensionais. Deste modo, de acordo com diversos autores (e.g. Harrison: 2013; Whyte: 2002; Gutiérrez *et al.*: 2008), estes tipos de imagens devem ser denominados representações em 2,5 D. Além das representações em perspetiva, as imagens em 2,5D englobam ainda as representações obtidas através dos sistemas de Projeções Oblíquas referentes ao Sistema de Projeção Paralela ou Cilíndrica, consistindo nas Projeções Axonométricas. Os *softwares* de 3D CAD

⁶¹ De modo a aprofundar o estudo e compreensão da Perspetiva Linear Plana podem ser consultadas as seguintes obras referidas na bibliografia:

ABAJO, F. Javier Rodriguez de, & BLANCO, Alberto Revilla, (1990).
Geometria Descriptiva, Sistema de Perspectiva Conica.

ABAJO, F. Javier Rodriguez de, & BLANCO, Alberto Revilla, (1991).
Tratado de Perspectiva.

BARTINA, Lluís Villanueva, (1996).
Perspectiva Lineal, su Construcción y su Relación con la Fotografía.

admitem assim a visualização da estrutura volumétrica de um objeto em representações deste tipo para além das referidas.

Como observámos até este ponto, as representações geradas pelos programas de CAD consistem essencialmente em imagens 2D e/ou em 2,5D. Como referimos acima, torna-se pertinente clarificar o uso de terminologias que temos vindo a empregar. Deste modo, a representação em perspetiva – através de desenho analógico ou digital – deve ser entendida como um processo em que se pretende reproduzir uma imagem que mimetiza a visão monocular do ser humano.

Estes tipos de representações ocupam um legado importante na história da sociedade e da arte ocidental, sendo utilizados desde as manifestações artísticas do período da cultura clássica grega. Embora consistindo em propostas experimentais, muitos dos princípios teóricos da perspetiva foram desenvolvidos nesta época. Como é sabido, apenas no período do Renascimento a perspetiva foi sistematizada de acordo com as ciências matemáticas através dos estudos de Brunelleschi, substancializando-se até aos nossos dias como um importante elemento estruturante da cultura visual ocidental (Panofsky: 1999).

Em nosso entender, podemos observar a denominação da representação em 2,5D como um preciosismo decorrente de uma intenção que visa criar uma tipologia de imagens obtidas através de programas de CAD. Embora, por vezes, estejam relacionados com a representação perspetiva de modelos físicos, a lógica construtiva aplicada à sua construção reside na criação de modelos 3D que são, posteriormente, observados em superfícies planas (i.e. ecrãs).

No entanto, o *medium* que permite a sua leitura é digital, possibilitando assim um conjunto de operacionalidades distintas daquelas que são disponibilizadas através dos meios analógicos. Como observámos, os sistemas de Realidade Virtual admitem processos dinâmicos de visualização e de construção de estruturas virtuais que se diferenciam, em muitos aspetos, das representações tradicionais analógicas ou das representações em 2D.

Deste modo, podemos encarar as representações em 2,5D como uma forma de criação e de leitura de imagens sob uma perspectiva estática e não-interativa, em que não temos acesso à manipulação do referente de maneira a percebermos as diversas informações exigidas da sua volumetria.

Assim, podemos encarar as representações em 3D como aquelas que se referem à criação de imagens que são observadas num processo contínuo e dinâmico, em que o utilizador tem a capacidade de eleger diferentes pontos de vistas – de um modo interativo – podendo assim colmatar as necessidades inerentes à compreensão formal e estrutural do objeto em estudo.

Consubstanciando-se como uma solução operativa das áreas da Realidade Virtual, a representação em 3D proporciona assim a criação de um diálogo – entre o utilizador e o meio – que imprime um processo especulativo para a criação e análise dos diversos passos de um projeto.

Resumindo, as representações em 2D e 2,5D dizem respeito à criação de imagens estáticas de modelos tridimensionais, em que a configuração formal dos elementos representados não sofre alterações, não existindo assim a possibilidade de interatividade participativa por parte do utilizador. Independentemente de consistirem em projeções ortográficas ou perspéticas, a sua representação não difere daquela que é obtida pelos processos tradicionais analógicos.

Por seu lado, as representações dinâmicas – ou interativas – de modelos e estruturas tridimensionais compreendem uma resposta sistémica, em tempo real, que proporciona uma apropriação simbólica entre o espaço representado e o espaço real, dando lugar a uma compreensão mais eficaz entre as ligações correspondentes destes dois extremos (Whyte, *Op. Cit.*).

Indiferentemente dos dispositivos de visualização utilizados (e.g. ecrãs, HMD ou Óculos de realidade virtual ou aumentada) para as representações realizadas em 3D, os modelos e ambientes criados resultam num processo em que a realidade física é

simulada com o recurso a um *medium* que consiste na Realidade Virtual, permitindo a interatividade em tempo real com os elementos gerados.

Desta forma, e como pudemos observar, os *softwares* de 3D CAD – aplicados aos diversos processos de modelação 3D – constituem-se como tecnologias que permitem a proficiência destas realidades. Através da utilização dos diferentes elementos de modelação 3D, o escultor dispõe de uma “ferramenta” e, simultaneamente, de um *medium*, que introduzem novos paradigmas nos processos de criação escultórica e desenvolvimento projetual.

▪ Elementos de Modelação 3D

Os Elementos de Modelação 3D estão relacionados com os processos e com os componentes aplicados à representação e à edição de primitivas geométricas 3D. Podemos assim enunciá-los como os “blocos de construção” utilizados para a criação de objetos e superfícies em 3D.

De certo modo, estes tipos de elementos são responsáveis pelos processos que geram a representação de diversas formas que permitem a construção e obtenção das volumetrias e morfologias de um modelo 3D, consistindo no léxico característico dos programas de 3D CAD.

Os Elementos de Modelação 3D são, assim, os constituintes da linguagem específica aplicada à modelação virtual de estruturas e superfícies. De uma maneira geral, o ponto, a linha – reta ou curva – e os polígonos são os elementos representativos das primitivas geométricas que permitem a criação de formas e de malhas em 3D.

Consistindo em elementos bidimensionais, as primitivas geométricas em 2D podem ser editadas de modo a podermos obter a simulação tridimensional das formas que pretendemos representar em 3D, de maneira a visualizarmos as imagens virtuais dos

objetos pretendidos. Estes tipos de Comandos de Edição Volumétrica serão tratados mais adiante.

Como observámos, o ponto constitui o elemento mínimo de representação em 3D. Através da parametrização dos diferentes valores aferidos aos vértices que constituem uma forma bidimensional ou tridimensional, torna-se possível a construção e subsequente visualização de um objeto representado em 3D.

No entanto, este processo é reservado para a conceção de formas simples, implicando uma metodologia morosa quando aplicado em volumetrias mais complexas. Embora a malha poligonal de uma superfície em 3D seja composta por inúmeros vértices, podemos imaginar que a sua construção através do processo “ponto a ponto” revela-se numa metodologia praticamente impossível de realizar.

Assim, o emprego da curva – como elemento de modelação 3D – constitui uma solução mais eficiente e vantajosa para a construção de figuras planas. A estrutura de uma curva é essencialmente composta por um conjunto de pontos que configuram dois tipos de formato: a linha curva e a linha reta. Estes pontos podem ser editáveis de modo a controlar um conjunto de operações de deformação que permitem a alteração estrutural da curva sobre um plano ou dentro de uma matriz de referência tridimensional.

Desta forma podemos observar a representação de curvas complanares – editadas sobre o mesmo plano – ou de curvas de desenvolvimento em 3D, sendo as últimas relativas ao processo de evolução curvilínea ancorado a um referencial não complanar, dando origem a morfologias geométricas não regulares, utilizadas, por exemplo, para gerar superfícies “orgânicas”.

De um modo sucinto, procuraremos nesta fase enunciar os diferentes tipos de curvas que enformam o vocabulário necessário para gerar os diversos elementos volumétricos na representação em 3D. Como indicámos, qualquer tipo de superfície concebida em 3D é composta por uma malha poligonal formada por um conjunto de

vértices (pontos) dispostos segundo parâmetros regulares ou não regulares. A densidade do número de polígonos está diretamente relacionada com o nível de definição formal do objeto, visto que quanto maior for o seu número mais realista será a representação do referente.

Ao encontrarem-se agregados entre si pelas diversas arestas, os polígonos geram linhas de superfície que se assumem como geratrizes que permitem conceber a volumetria do objeto. Deste modo, com a interseção das diversas linhas, gera-se a malha poligonal compostas por curvas e/ou retas.

Os diferentes tipos de curvas empregues na representação em 3D consistem num conjunto de pontos que dão origem à sua forma. Contrariamente ao desenho analógico de uma curva, as configurações obtidas através dos programas de CAD apresentam uma descontinuidade na evolução gráfica deste elemento, devido à tradução linear efetuada pelas placas gráficas nos ecrãs dos computadores. Na sua essência, uma linha curva digital consiste num tramo poligonal composto por inúmeros segmentos que formam a sua imagem.

Em termos de transformações geométricas, a utilização de curvas obtidas através de representações analíticas revela-se um sistema mais eficaz para a edição da sua configuração. Contrariamente às curvas representadas à mão livre (*FreeHand Curves*), a representação analítica permite alterar com precisão os valores atribuídos aos pontos de edição e controlo da linha, consistindo num processo de grande eficácia para a transformação da sua configuração em tempo real.

Do ponto de vista da modelação 3D, este sistema integra os procedimentos mais utilizados para a construção de superfícies, visto que assume valores de matrizes matemáticas que permitem criar curvas não paramétricas e curvas paramétricas.

As curvas não paramétricas (e.g. linhas de seção cónica: elipse, parábola e hipérbole) apresentam limitações nos processos de edição das suas configurações. Ao dependerem de uma estrutura axial, a transformação de um ponto não interfere com a

distribuição formal dos outros pontos sobre a curva, revelando uma quebra na evolução da linha. Embora seja utilizada em diversas aplicações, este tipo de curvas não tem grande relevância na modelação 3D, uma vez que a utilização de curvas paramétricas possibilita a resolução das limitações inerentes à utilização das primeiras.

Deste modo, as curvas paramétricas traduzem-se como as mais funcionais para as diversas operações realizadas na área da representação em 3D. De acordo com Gutiérrez *et al.* «numa forma paramétrica, as coordenadas de cada ponto que compõe uma curva estão representadas como funções de parâmetros singulares, que podem variar ao longo de um limite de valores» (2008: 28). Ao encontrarem-se desvinculados de uma estrutura axial, os pontos que formam a linha podem ser editados de modo dinâmico, influenciando a evolução formal da curva na sua totalidade.

As curvas paramétricas assumem diferentes tipologias que se encontram condicionadas às diferentes funcionalidades que estas permitem desenvolver. No entanto, procuraremos descrever aquelas que têm maior aplicabilidade no âmbito dos *softwares* de 3D CAD.

As curvas *Splines*⁶² constituem-se como o tipo de curvas paramétricas mais utilizadas no universo da modelação 3D. A parametrização destas linhas permite alterar a sua configuração de modo a podermos obter uma aproximação à forma pretendida. A tradução matemática da sua equação para os sistemas de representação em CAD foi estudada e desenvolvida nos anos 60 por Pierre Bézier e Paul de Faget de Casteljau – engenheiros da indústria automóvel da Renault e da Citroën – permitindo o desenho de curvas e superfícies através de pontos de controlo de estrutura linear. Com a introdução destes elementos de construção, a representação de superfícies complexas

⁶² Curvas *Spline* são aquelas que podem ser definidas matematicamente por dois ou mais pontos de controlo. Os pontos de controlo que se localizam sobre a curva são denominados de *nós*; Os restantes pontos definem a tangente à curva e os respetivos nós. Existem dois tipos de curvas *Spline*: *Splines* de Interpolação, que passam por todos os pontos de controlo e *Splines* de Aproximação, que passam perto de todos os pontos de controlo.

-
O nome deste tipo de curvas deriva da indústria da construção naval (*Ship Lines*), em que se utilizavam linhas flexíveis, realizadas à escala real em madeira ou metal, de modo a produzir os desenhos de projeto dos cavernames dos navios. Posteriormente, as linhas eram colocadas sobre tábuas ou placas metálicas para permitirem o recorte da forma. Até à introdução dos sistemas de CAD, este tipo de curvas era amplamente utilizado para o desenho de linhas curvas nas diferentes áreas da indústria.

tridimensionais em CAD tornou-se num processo muito mais simples e exequível, permitindo ajustes interativos das formas pretendidas.

As curvas Bézier – como forma de evolução das *Splines* – devem o seu nome ao trabalho teórico publicado por Pierre Bézier em 1962. Este tipo de curvas divide-se em três ordens: linear, quadrática e cúbica, sendo a última a mais aplicada aos sistemas de representação em CAD, animação e tipografia digital. Como propriedades mais importantes, podemos apontar as seguintes (Gutiérrez *et al*, *Op. Cit.*):

- A curva desenhada desenvolve-se segundo a configuração do polígono formado pelos pontos de controlo;
- O primeiro e último ponto da curva são coincidentes com o primeiro e último ponto de controlo;
- Os vetores de tangência, nos extremos da curva, têm a mesma direção dos lados contíguos do polígono, permitindo a continuidade do desenho da linha curva;
- A curva pode sofrer transformações aos níveis da translação, da escala e da rotação, recorrendo apenas aos seus pontos de controlo.

A pertinência da criação destas curvas reside no facto da introdução do conceito de linhas vetoriais na área da representação em CAD, visto que, e em contraste, as imagens utilizadas eram rastreadas e estáticas, apresentando grandes limitações para o trabalho de modelação.

Consistindo numa solução que permite a descrição de uma imagem em termos matemáticos, as curvas Bézier permitiram a aplicabilidade de processos de edição formal a uma configuração previamente estabelecida.

Deste modo, este tipo de linhas – e as respetivas evoluções posteriormente desenvolvidas – assumem-se como os formatos *standards* nos mais diversos campos da computação gráfica devido à sua polivalência operativa.

«As vantagens acima descritas, fazem das splines matemáticas uma das ferramentas mais úteis e versáteis da animação e modelação 3D, que são elementos chave para a aplicação da Realidade Virtual e que proporcionam o design interactivo – recorde-se que foram criados para resolver esta mesma questão – ajudando designers de automóveis a criar novas formas e a descrevê-las de modo preciso e formal (matemático) para que os computadores consigam processá-los».⁶³
(tradução nossa).

Cientes do aspeto hermético destas descrições, entendemos, no entanto, que a sua referência é pertinente no campo da construção e modelação em 3D. De certo modo, as curvas compõem o ADN dos elementos de representação digital, permitindo uma manipulação incomensurável dos seus pontos de controlo, abrindo horizontes para a criação de formas cujo limite reside na imaginação do escultor.

Podemos ainda fazer referência a outro tipo de curvas derivadas das *Splines*: as *B-Splines*. Estas curvas diferem das Bézier por se constituírem como linhas de parametrização interpolada, em que os nós de controlo linear encontram-se sobre a curva.

Deste modo, podemos introduzir alterações às suas configurações que permitem estruturas mais complexas. Como exemplo, através do uso destas linhas, podemos introduzir modificações mais flexíveis ao nível do desenvolvimento da curva, sendo

⁶³ «The advantages described earlier make mathematical splines one of the most useful and versatile tools for 3D shape modeling and animation, which are key elements of a Virtual Reality application. They allow for interactive design; remember they were created to solve precisely this problem: helping automobile designers create new shapes and describe them in a precise and formal (mathematical) way so that computers can process them».

(Gutiérrez *et al*; 2008: 31).

possível a translação de pontos de controlo de modo a criarmos pontos de interseção na sua estrutura sem alterar o número de nós.

Depreendemos assim que a aplicabilidade desta função permite a criação de formas mais complexas ao nível da representação em 2D e/ou 3D, disponibilizando ao utilizador – escultor – um leque mais variado de opções formais para o desenvolvimento projetual.

Decorrente da operacionalidade deste tipo de linhas, podemos ainda apontar outra tipologia de curvas que partilha as mesmas características analíticas e geométricas das *B-Splines*: as denominadas de *Nonuniform Rational B-Splines Curves*, conhecidas como NURB. As curvas NURB consistem na forma mais usual da evolução das *Splines* matemáticas aplicadas à representação em CAD.

Este tipo de curvas apresenta uma grande polivalência, permitindo uma forma precisa para a criação de inúmeros elementos analíticos, como linhas, curvas cónicas, planos e superfícies esculturais que são frequentemente utilizados em aplicações de realidade virtual e modelação 3D. Assim, podemos depreender que a sua aplicabilidade nos *softwares* de modelação paramétrica é de extrema relevância, assumindo-se como um dos elementos principais para a criação e representação de formas estruturais complexas no âmbito da escultura e modelação digital.

Como mencionámos, a modelação em 3D – consistindo numa das soluções disponíveis através dos sistemas de 3D CAD – permite essencialmente a criação de dois tipos característicos de morfologias que se adequam ao desenvolvimento da realização de uma escultura digital: as morfologias de estruturas tendencialmente geométricas (e.g. sólidos primitivos, sólidos compostos e respetivas deformações) e as estruturas denominadas de “orgânicas,” sendo estas relativas à representação de formas não regulares e não planificáveis, empregues na criação de elementos antropomórficos e zoomórficos.

Deste modo, podemos conceber as mais diversificadas formas em 3D recorrendo aos diferentes tipos de curvas e aos comandos de edição volumétrica específicos para o efeito. Através destas funcionalidades, podemos criar virtualmente qualquer tipo de forma, sem a dependência da proficiência das nossas capacidades de representação gráfica.

Atualmente torna-se evidente a utilização de um léxico formal que decorre exclusivamente dos processos de representação em 3D, criando, de certo modo, um discurso visual característico do emprego das tecnologias digitais aplicadas às diversas áreas da cultura digital contemporânea (Manovich; 2001).

Como exemplo, podemos observar no discurso contemporâneo formal dos campos da arquitetura, do *design* e das artes plásticas, a presença de morfologias que são caracteristicamente concebidas com os sistemas de CAD, introduzindo novos léxicos às soluções volumétricas criadas. Como apontámos, estamos na presença de uma moda que, a passos largos, se dissemina pelos diversos polos da nossa cultura visual e material.

Não nos cabe nesta fase analisar as consequências desta realidade. No entanto, na nossa perspetiva, não podemos deixar de observar a pertinência que os meios digitais imprimem aos processos de criação formal na área da escultura. No entanto, decorrente da análise que temos vindo a desenvolver dentro do campo da representação e criação em 3D, torna-se ainda importante debruçarmos o nosso estudo sobre os elementos estruturais mais importantes da modelação digital: as superfícies.

Como é evidente, a modelação em 3D tem como objetivo a criação de formas que representam os aspetos tridimensionais de referentes distintos. Analisámos até este ponto a representação de elementos complanares (2D) ou de elementos que podem ter uma evolução formal sobre uma matriz em 3D. No entanto, estes elementos configuram-se como estruturas que permitem o desenrolar volumétrico de uma forma (i.e. uma superfície).

Através das aplicações da representação em realidade virtual podemos criar as volumetrias que criam a ilusão alternativa de um ambiente e/ou de objetos, dando resposta às necessidades dos diferentes estágios de um projeto das áreas da indústria e das artes.

Deste modo, através da modelação em 3D, torna-se possível a conceção virtual de veículos, edifícios, equipamentos urbanos, figuras humanas e esculturas digitais. No entanto, todos estes elementos são concebidos com o recurso a superfícies que enformam a sua volumetria.

Como constatámos, a eleição dos diferentes programas de 3D CAD a utilizar está relacionada com o tipo de morfologias que se pretende criar, sendo necessário o conhecimento das potencialidades disponibilizadas por cada tipo de *software*. Nas áreas da modelação 3D, os processos mais utilizados consistem na deformação de malhas de superfícies poligonais de modo a poder obter-se a configuração que mais se adequa às intenções do escultor.

Além dos processos de deformação da malha poligonal – que consiste na essência da modelação 3D – existem ainda outros tipos de estratégias para a criação de formas volumétricas. No entanto, por agora, vamos focar a nossa atenção nos sistemas de modelação paramétrica e de modelação livre de superfícies.

De um modo geral, as superfícies poligonais são constituídas por uma malha que é composta por inúmeras curvas *Splines* que se intersejam de modo a criar os vértices que a estruturam. Através das funcionalidades operativas da edição das curvas, podemos empreender um processo de grande interatividade que se revela extremamente simples e de rápida execução.

Se extrapolarmos as características das diferentes curvas *Splines* para uma superfície poligonal, podemos imaginar que cada vértice detém valores paramétricos que podem ser alterados. Assim, constituindo-se numa grelha de pontos, a estrutura da

malha pode ser manipulada de modo a alterarmos, individualmente ou em grupo, as posições relativas das coordenadas dos vértices.

Através das curvas NURB, formam-se cadeias de colunas e linhas distribuídas pela superfície da malha poligonal, em que cada ponto de interseção corresponde a um nó de controlo vetorial, criando uma superfície de parametrização interpolada que pode ser modelada livremente ou através da atribuição de valores às coordenadas espaciais. Este tipo de superfícies (ou *patches*) divide-se geralmente em Superfícies Bézier e Superfícies NURB, de acordo com o tipo de curvas estruturais empregues para a sua construção.

O processo empregue para representar as malhas poligonais destas superfícies denomina-se de tesselação, consistindo no preenchimento das áreas poligonais recorrendo a algoritmos que geram padrões lumínicos e texturais. Os processos da tesselação poligonal estão relacionados com os Elementos de Renderização de Imagem, que trataremos mais à frente, sendo os responsáveis pela criação das diferentes soluções atribuídas às imagens digitais dos objetos representados em 3D. De certo modo, podemos considerar que são estes os elementos que permitem criar a ilusão de que o espaço virtual se converte num agente gerador de realidades alternativas para a visualização das formas criadas.

- Comandos de Edição Volumétrica

Como pudemos referir, existem outras soluções, disponíveis através dos diversos programas de 3D CAD, para a construção e modelação de volumetrias virtuais. A modelação de malhas de superfícies digitais pode ser considerada um procedimento mais livre e intuitivo no que respeita aos aspetos metodológicos para a criação de um objeto escultórico digital. Não obstante, através da aplicação de diferentes comandos, podemos construir volumetrias virtuais que permitem a criação de uma tipologia

específica da escultura digital que se traduz num processo concetual que concilia a escultura e a matemática: as esculturas matemáticas (Báez & Calonge; 2006).

Com a introdução das tecnologias CAD no universo da escultura, torna-se possível conceber formas que anteriormente seriam praticamente impossíveis de representar, de modo a explicitar o seu desenvolvimento tridimensional. Aliando o campo das ciências matemáticas às artes plásticas, estes processos construtivos permitem uma infinidade de explorações formais no campo da criação escultórica.

Este tipo de alternativas traduz os conceitos geométricos aplicado à descrição matemática de sólidos para os sistemas de CAD, possibilitando a construção de formas geométricas em 3D que irão servir de volumetria primitiva para a subsequente alteração e modelação. Assim, podemos depreender que, recorrendo a estes processos, opta-se pelo desenvolvimento sequencial da forma pretendida, combinando um conjunto de sólidos que resultará na morfologia requerida.

Estas operações são denominadas de Comandos de Edição Volumétrica e são responsáveis pela alteração dos parâmetros referentes ao comportamento da evolução das curvas e dos polígonos de acordo com uma matriz 3D. Atualmente, os ambientes dos interfaces gráficos de usabilidade dos diversos programas de CAD, apresentam uma infinidade de comandos relativos à edição volumétrica; na sua maioria são de extrema redundância, podendo contribuir para que os utilizadores que detêm pouca experiência no campo se possam sentir confundidos.

No entanto, as operações mais importantes e apropriadas para a construção de sólidos residem num pequeno conjunto de comandos e funções que procuraremos descrever de seguida.

As diferentes obras consultadas, relativas a esta temática, apresentam uma pluralidade de termos aplicados a operações semelhantes. Deste modo, propomos a utilização de uma terminologia específica que, em nosso entender, reúne as essências descritivas das diversas operacionalidades aplicadas a este grupo de comandos de

edição. No entanto, devemos ressaltar que as aplicações de diferentes tipos de comandos permitem, por vezes, obter os mesmos resultados na obtenção e representação de um objeto, residindo a escolha para a sua utilização nas rotinas do utilizador.

- Biblioteca de Primitivas

De uma maneira geral, todos os programas de 3D CAD contêm uma biblioteca de sólidos geométricos que podem ser introduzidos no espaço virtual de trabalho. Estes elementos podem servir de base estrutural para a criação de volumetrias – puramente geométricas – de modo a obtermos uma configuração inicial da forma do referente que se pretende representar. Estas bibliotecas disponibilizam sólidos regulares (i.e. sólidos platónicos), esferas, cones e cilindros.

- Superfícies de Revolução

As superfícies de revolução são obtidas através de uma operação que permite o desenvolvimento de uma curva (geratriz) em torno de um eixo tendo como linha diretora uma diretriz. Estas superfícies podem ser geradas de acordo com a revolução circular, a revolução elítica e a revolução de diretriz não regular.

Este processo permite ainda parametrizar a amplitude de revolução, dando assim origem a superfícies fechadas ou abertas de acordo com os valores atribuídos aos graus de revolução. Como exemplo das diversas soluções que se podem representar com este comando, podemos referir objetos de forma tubular cilíndrica ou cónica (e.g. copos, taças, garrafas e eixos mecânicos).

- Extrusão de Figuras Planas

A extrusão de formas planas permite atribuir valores de volumetria a uma forma 2D. Deste modo, a figura plana sofre um desenvolvimento volumétrico segundo uma

direção (perpendicular ou oblíqua ao plano que a contem) até atingir o valor de elevação atribuído, gerando assim, a superfície do objeto.

Como exemplo, este comando pode ser aplicado para a construção de formas prismáticas ou piramidais, permitindo destacar a base do sólido de modo a obtermos a forma pretendida. Podemos ainda salientar que esta operação pode ser aplicada sobre a superfície de uma volumetria previamente concebida, admitindo a extrusão de partições desenhadas sobre o objeto.

▪ Desenvolvimento Linear

Nos sistemas de CAD, as operações de desenvolvimento linear derivam dos processos aplicados à construção de superfícies de revolução. Através destes comandos, podemos eleger uma – ou mais curvas – como elemento diretor da superfície em que se apoia uma linha geratriz que irá gerar a superfície.

Os procedimentos aplicados por este tipo de operações apresentam diversas alternativas para a representação de formas de grande complexidade, uma vez que assumem desenvolvimentos volumétricos em que podemos parametrizar uma infinidade de valores. Como exemplo, podemos referir o Desenvolvimento Linear Contíguo, em que as linhas diretoras assumem-se, simultaneamente, como geratrizes, permitindo assim a criação de malhas de superfície poligonal que analisámos acima.

No âmbito destas operações, falta-nos indicar o processo referente ao desenvolvimento de superfícies 3D realizado através da Extrapolação de Seções Lineares. Este sistema consiste na eleição de curvas (fechadas ou abertas) distribuídas por diferentes patamares que servem de geratrizes. Neste caso, o elemento diretor é relativo a uma direção ou percurso, permitindo a extrapolação da configuração da superfície, que irá desenvolver-se de acordo com a referência formal das diferentes seções lineares previamente desenhadas.

- Operações Booleanas

As Operações Booleanas, ou Operações de Boole, consistem num conjunto de comandos que se baseiam no cálculo do resultado obtido através das relações aditivas ou subtrativas entre a interseção das superfícies de dois sólidos. Deste modo, podemos representar formas em 3D que resultam da conjugação de dois elementos compostos; neste processo, um dos sólidos considera-se como o “alvo” da operação, sendo o restante considerado como o elemento modelador.

Assim, as relações booleanas aditivas compreendem a fusão das duas superfícies, criando uma morfologia composta por um único sólido que partilha a mesma “casca,” ou *shell*, resultante da interseção dos dois sólidos.

Relativamente aos processos aplicados às relações booleanas subtrativas, podemos enunciar diversas soluções: por um lado, o resultado final obtido resulta do vazamento extraído ao sólido “alvo” por parte do elemento modelador. Cria-se, assim, um negativo – parcial ou total – da forma do primeiro na superfície do outro sólido.

Por outro lado, podemos, por exemplo, obter três sólidos distintos, consistindo dois deles no resultado da interseção obtida pela extração do produto volumétrico comum, sendo o terceiro precisamente o sólido resultante deste produto.

As operações booleanas de relação subtrativa encontram grande aplicabilidade no campo da escultura digital, uma vez que permitem a criação de moldes virtuais dos objetos escultóricos criados em 3D, possibilitando, posteriormente, a sua prototipagem rápida para diferentes aplicações.

- Deformação Estrutural de Superfícies

As operações de deformação estrutural de uma superfície constituem um grupo de comandos que permitem a alteração paramétrica dos valores que configuram a morfologia geral do objeto. Estes comandos podem ser aplicados em qualquer fase do

desenvolvimento do projeto, possibilitando o ensaio em tempo real de alternativas referentes aos resultados que se pretendem.

Deste modo, uma das operações que podemos referir está relacionada com a alteração de escalas – total ou parcial – dos elementos que configuram o referente representado. A alteração da escala, a nível total, permite apenas ampliar ou reduzir as dimensões aferidas, dando a hipótese de escalonar diferentes elementos de acordo com as mesmas proporções espaciais do ambiente criado. Esta operação permite ainda alterar as dimensões de objetos replicados a partir de um original, de modo a criarmos modelos com diferentes volumes para estudos de desenvolvimento.

A alteração de escalas parciais implica a modificação de elementos que compõem o objeto, alterando assim a sua configuração original. Como exemplo ilustrativo, podemos imaginar o resultado que se obtém ao ampliarmos a escala da base superior de uma forma cilíndrica, transformando, assim, a sua configuração numa superfície cónica. Como podemos depreender, este tipo de operações tem grande relevância na área da modelação 3D, possibilitando um entendimento mais facilitado e uma exploração da morfologia do objeto que estamos a conceber.

A translação de elementos estruturais de uma volumetria permite a deslocação dos diversos componentes de um objeto. Ao considerarmos um sólido representado em 3D como um todo, podemos supor que a translação de uma das suas partes (e.g. face, aresta, vértice) irá desencadear um processo que deformará a sua estrutura. As formas criadas em 3D têm a particularidade de se constituírem como estruturas tensionais, traduzindo assim comportamentos específicos que permitem a sua deformação recorrendo a comandos simples como a translação.

Uma outra alternativa que podemos apontar, relativa às metodologias de edição formal, está relacionada com as operações de rotação. Estes processos permitem a rotação total ou parcial do objeto; através da rotação parcial dos elementos conseguimos imprimir um “gesto” de torção à estrutura da superfície – em torno de um eixo – de modo a obtermos diferentes configurações do referente.

Por fim, podemos ainda alterar a volumetria de um objeto através de operações de dobragem estrutural. Como depreendemos, este comando possibilita a alteração do desenvolvimento direcional da configuração de um sólido, sendo aplicado, como exemplo, na modelação dos membros de uma figura antropomórfica.

▪ Elementos de Renderização de Imagem

Os Elementos de Renderização de Imagem referem-se aos processos e aos elementos utilizados para gerar imagens que permitem a visualização dos objetos e ambientes 3D de um modo realista. Através de sistemas de iluminação virtual, assim como do tratamento textural e cromático, torna-se possível a produção de imagens que apresentam um grau elevado de realismo e de credibilidade aos ambientes 3D (Hughes *et al.*, 2014; Harrison, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2008).

Nos sistemas informáticos, o conceito de renderização consiste na obtenção de um resultado final decorrente dos processos de construção de um produto. De certo modo, constitui-se como o aspeto final que se pretende apresentar após o desenvolvimento de um projeto.

Nas áreas da computação gráfica em 3D, os processos de renderização são responsáveis pelos sistemas que permitem gerar imagens a partir da conversão de uma superfície de malha poligonal numa representação com diferentes graus de fotorrealismo. Estas imagens podem consistir em representações em 2D e/ou em 3D e são geradas em tempo real – para aplicações de Realidade Virtual – ou em tempo “não” real, aplicadas, por exemplo, na animação 3D ou imagens 2D de apresentação de ambientes e objetos.

Atualmente, os motores de renderização em tempo real permitem obter um número elevado de fotogramas por segundo (entre 20 e 120) imprimindo grande

credibilidade física aos ambientes representados. A renderização em tempo “não” real consiste num processo que implica um maior dispêndio de tempo, permitindo, no entanto, resultados com grande rigor a nível de fotorrealismo.

De qualquer modo, a aplicabilidade dos diferentes motores de renderização tem como finalidade, a apresentação de imagens que permitam o maior grau de ilusão, recorrendo ao menor número possível de fotogramas. Os programas utilizados para os motores de renderização procuram, assim, atribuir diferentes valores aos aspetos lumínicos, cromáticos e texturais dos objetos e respetivos ambientes em que estes estão inseridos.

De acordo com Gutiérrez *et al.* (*Op. Cit.*), a credibilidade de uma imagem renderizada reside no apelo visual que decorre da aplicação dos valores observados na simulação de cores, das sombras, das texturas e dos fenómenos relativos aos reflexos gerados pelos diferentes tipos de iluminação presentes num ambiente virtual. Na verdade, a luz refletida por um objeto consiste precisamente no fenómeno que nos permite apreender as suas características físicas e espaciais.

Os motores de renderização utilizam diferentes modelos de iluminação de modo a realizarem os cálculos necessários para a representação de elementos sob a forma de imagens fotorrealistas. Através de diversas equações, estes modelos permitem atribuir, a cada polígono de uma superfície 3D, os respetivos valores cromáticos e valores de brilho refletido, tendo em consideração a localização das fontes lumínicas e da posição relativa do observador.

Deste modo, cria-se uma imagem que mimetiza com grande fiabilidade as condições naturais de um ambiente real. Os processos de renderização disponibilizam assim um importante meio para a perceção do comportamento de objetos num ambiente físico replicado em 3D (Harrison, 2013), permitindo, na nossa perspetiva, uma exploração mais detalhada no desenvolvimento do projeto no âmbito da escultura digital.

Os modelos de iluminação atuam a três níveis distintos: microscópico, local e global; nas áreas da realidade virtual observada em tempo real, os modelos mais aplicados consistem nos modelos de iluminação local e de iluminação geral. Os sistemas empregues pelos modelos de iluminação microscópica implicam grandes capacidades de processamento e, como consequência, despendem mais tempo para a obtenção de resultados.

Paralelamente aos modelos de iluminação, os motores de renderização utilizam processos que permitem a obtenção de efeitos de suavização lumínica atribuídos a cada polígono da malha de superfície, impedindo assim alternâncias nos reflexos observados em cada face. Estes sistemas consistem em modelos de sombra que “diluem” a cor e a luminosidade refletida. Os mais utilizados na área da computação gráfica são os modelos Gouraud e os modelos Phong.⁶⁴

Como referimos acima, os modelos de iluminação mais utilizadas pelos motores de renderização consistem nos modelos de iluminação local e iluminação geral. A escolha da sua aplicabilidade irá influenciar o nível de realismo dos resultados obtidos nas imagens renderizadas. Deste modo, podemos indicar que os modelos de iluminação local não conseguem traduzir com grande rigor as condições físicas de iluminação de um ambiente e dos objetos que nele estão inseridos.

Este tipo de modelo recorre a algoritmos cuja função reside, precisamente, na criação de processos que visam a simplificação dos efeitos de luminosidade observados em cenários e objetos criados em 3D, embora permitam bons resultados nos sistemas de realidade virtual observada em tempo real.

Os modelos de iluminação local realizam o cálculo necessário para a intensidade de luz refletida num determinado ponto através dos valores de três componentes:

⁶⁴ Os nomes destes modelos de sombra derivam dos trabalhos desenvolvidos, nos anos 70, pelos engenheiros informáticos Henri Gouraud (França) e Bui Tuong Phong (Vietname).

- Reflexão ambiente;
- Reflexão difusa;
- Reflexão especular.

O processo empregue para gerar os valores da reflexão ambiente consiste na tradução dos parâmetros lumínicos relativos aos elementos – que não sofrem iluminação direta – presentes num cenário (i.e. ambiente envolvente da cena). Este sistema é assim responsável pela criação da iluminação geral de um espaço virtual e permite algum controlo de modo a tornar uma cena mais clara ou mais escura.

Por outro lado, a reflexão difusa resulta da luminosidade refletida por superfícies baças (i.e. superfícies mates), cuja intensidade é constante, independentemente da posição relativa do observador.

Por fim, a reflexão especular é caracterizada pela luz refletida através de uma superfície brilhante, tendo influência na iluminação de objetos adjacentes àquele que reflete a luz, uma vez que estes compreendem valores de radiação que os tornam numa fonte de transmissão lumínica.

De uma maneira geral, os modelos de iluminação local são utilizados nas representações em 3D nas áreas dos *interfaces* gráficos em que se observa o objeto segundo processos perspéticos. Estas imagens são assim renderizadas localmente (dentro do software) em tempo real, permitindo ao escultor observar rapidamente os efeitos lumínicos que afetam o modelo em construção.

Os modelos de iluminação global destinam-se à criação de imagens renderizadas que apresentam grandes níveis de realidade à ilusão que produzem. Embora requeiram uma maior exigência ao nível de processamento de dados, estes modelos são

maioritariamente aplicados nos processos empregues para a renderização de imagens que impliquem grandes efeitos de fotorrealismo (Harrison, 2013).

Este tipo de modelo emprega dois sistemas de iluminação de modo a calcular os efeitos lumínicos que se podem observar num ambiente virtual:

- Sistema de iluminação direta;
- Sistema de iluminação indireta.

O sistema de iluminação direta tem em consideração os efeitos provocados pela radiação luminosa proveniente de uma fonte de luz (e.g. sol, lua e iluminação artificial). Além dos aspetos relativos aos efeitos de iluminação de uma superfície, este sistema permite o cálculo das sombras próprias, projetadas e auto projetadas dos diferentes elementos que compõem o cenário virtual.

Este aspeto revela-se de grande utilidade para o estudo da modelação lumínica de uma superfície escultórica, uma vez que permite simular as incidências naturais e artificiais da luz numa obra.

No âmbito do projeto da escultura pública, temos vindo a empregar, nas lecionação das nossas aulas, estes modelos para a simulação dos comportamentos de iluminação e respetivas sombras do objeto escultórico. Inclusive, existem *softwares* que nos permitem observar o desenrolar dos efeitos lumínicos sobre as superfícies nas diferentes horas e estações do ano. Por outro lado, ao permitirem a atribuição de valores cromáticos à iluminação artificial, temos observado a vantagem destes sistemas nas simulações de iluminação em espaços interiores (i.e. galerias de exposição) de modo a obtermos diferentes soluções para este efeito.

O sistema de iluminação direta permite a visualização dos efeitos lumínicos respeitantes à reflexão da luz proveniente dos diferentes elementos presentes num cenário concebido em 3D. Através deste processo, a renderização das imagens procura calcular os aspetos de iluminação resultantes da reflexão dos diferentes materiais e texturas aplicados aos objetos. Ao contrário do sistema de iluminação local, este sistema utiliza uma equação de renderização⁶⁵ que é baseada nos princípios físicos da luz, permitindo, teoricamente, obter resultados perfeitos na iluminação dos objetos e cenas virtuais.

Como podemos imaginar, a sua aplicabilidade em ambientes de realidade virtual de tempo real torna-se, por ora, praticamente impossível de realizar. Deste modo, tendo em conta a reflexão da luz, provocada por diferentes objetos, podemos imaginar a complexidade do jogo lumínico observável numa imagem renderizada através deste tipo de modelo de iluminação. Felizmente, as novas gerações de placas gráficas e de *softwares* de 3D permitem uma elevada proficiência neste campo, constituindo-se como uma forte “ferramenta” para o estudo e desenvolvimento da criação de uma escultura digital.

De modo a concluirmos o estudo dos elementos de renderização, resta-nos fazer referência às texturas e materiais que se podem aplicar na construção de uma escultura digital. Os processos para a obtenção de uma imagem de grande realismo não dependem apenas da criação de superfícies de graus elevados de morfologia e da iluminação aplicada (Gutiérrez *et al.*, 2008).

Como se torna óbvio, no campo da escultura, os objetos representados em 3D têm grande relação com os aspetos materiais e texturais aplicados. De um modo geral, os *interfaces* gráficos de CAD apresentam um grafismo assético, que é específico da idiossincrasia dos ambientes de projeto gráfico. Assim, as diversas operações que podemos empregar são realizadas sob representações que procuram ser claras,

⁶⁵ A título de exemplo, podemos indicar os nomes dos algoritmos utilizados para a resolução das equações referentes a estes sistemas: *ray tracing*, *radiosity* e *photon mapping*. Estes processos podem ser aplicados isoladamente ou, em alternativa, recorrendo a mais do que um, permitindo assim vários varrimentos sucessivos da imagem de modo a obtermos um efeito mais realista.

preterindo, deste modo, “barroquismos” no seu discurso geométrico. A leitura dos objetos e ambientes em tempo real não permite observar a generalidade dos elementos que posteriormente se encontram na renderização das suas imagens.

Os modelos de iluminação local permitem apenas uma aproximação à realidade que se pretende representar. No entanto, torna-se pertinente referir que muitos dos *softwares* de 3D CAD permitem eleger diferentes tipos de grafismo nas áreas de representação dos *interfaces*. Desta forma, podemos observar, nas diferentes vistas, o mesmo objeto representado de acordo com soluções diferentes de grafia (e.g. desenho técnico, desenho livre ou artístico e renderização em tempo real) possibilitando a visualização de aspetos distintos do objeto que estamos a conceber.

Como referíamos, a aplicação de texturas e materiais às superfícies 3D permitem a criação de imagens com maior grau de realismo. Estes elementos são aplicados sobre as formas, revestindo-as de modo a criarem a ilusão material e textural que se pretende. Assim, é possível atribuir um material distinto à malha poligonal de um objeto, criando um efeito “real” na imagem renderizada. Como exemplo, podemos revestir uma forma escultórica com os materiais tradicionais mais utilizados (e.g. pedra, metal, madeira, plástico e gesso) de modo a estudarmos as diferentes soluções que podemos empregar em termos de material. Atualmente, os programas de 3D CAD contêm bibliotecas de materiais que estão disponíveis para este efeito. Podemos, no entanto, obter registos fotográficos de materiais específicos para, posteriormente, criarmos mapas de texturas para aplicarmos sobre as superfícies criadas.

Além dos elementos relativos aos materiais, é ainda possível a atribuição de texturas sobre os objetos 3D. Estas, contrariamente aos processos de aplicação de materiais, imprimem a ilusão “tátil” às superfícies dos objetos, visto que permitem a alteração dos parâmetros de iluminação ao criarem um efeito visual de relevo 3D sobre a forma.

Note-se que este efeito é conseguido através de um processo denominado de *bump mapping*, em que se cria a ilusão de uma textura sobre uma superfície plana.

Como exemplo, podemos criar este efeito sobre uma superfície regular cilíndrica, ao aplicarmos uma textura de uma parede de tijolos. Além dos aspetos de cor e de material, este processo cria a ilusão das depressões existentes entre os tijolos, através de efeitos lumínicos.

Concluímos, deste modo, o estudo e a exploração dos diversos elementos de construção utilizados nos programas de 3D CAD, debruçando-nos sobre os elementos matemáticos, elementos de construção 3D e elementos de renderização de imagem. Embora por vezes, segundo algumas perspetivas, esta fase da nossa investigação possa ter sido de leitura densa, procurámos, em nosso entender, reunir aspetos e saberes que decorrem das necessidades observadas no decurso da nossa experiência profissional.

Através da leitura de diversas obras, referentes a estes aspetos, pudemos constatar que muitos dos aspetos acima referidos, encontram-se dispersos. Longe de qualquer tipo de pretensiosismo optámos assim por agrupar de um modo claro, as diferentes operacionalidades que conduzem à utilização dos programas de modelação em 3D. De seguida iremos, precisamente, analisar este tipo de *softwares*, tendo em vista a sua aplicabilidade no campo da escultura digital.

5.4.

Softwares de 3D CAD

Como observámos no capítulo anterior, os diferentes tipos de *softwares* de 3D CAD podem ser organizados de acordo com as valências que disponibilizam nas áreas a que se destinam de um modo mais específico.

No entanto procuraremos observar apenas aqueles que têm maior aplicabilidade no âmbito da temática que temos vindo a explorar. Como referimos, atualmente podemos encontrar uma infinidade de programas de CAD que são concebidos de modo

a serem aplicados nas diversas áreas da computação gráfica, como, por exemplo, na indústria, na arquitetura, no *design* e nas artes plásticas.

Este facto permite-nos fazer uma ressalva curiosa: há relativamente poucos anos, os programas empregues na criação de obras digitais pertenciam aos campos da indústria e da arquitetura, visto que estes foram os sistemas originais concebidos para este tipo de tecnologia. Os artistas plásticos desdobravam-se assim em processos de auto aprendizagem de modo a colmatarem as suas necessidades, adaptando as diferentes funcionalidades destes tipos de programas ao seu processo criativo. Curiosamente, independentemente dos resultados obtidos, foi através de *softwares* de engenharia inversa que surgiram as primeiras manifestações artísticas em 3D. Apenas quem vivenciou este facto é que pode imaginar a complexidade em que consistia modelar uma forma em 3D, assumindo muitas vezes um dispêndio considerável de tempo.

Felizmente que esta realidade já não se constata nos nossos dias. Presentemente, os artistas digitais – particularmente os escultores – encontram diversas soluções específicas para o desenvolvimento e criação das suas obras. Além destes tipos de programas, podemos também encontrar sistemas híbridos, que possibilitam o emprego de diferentes metodologias para a modelação 3D. Mas sem querermos adotar a figura de advogado do diabo, encontramos-nos numa fase em que a proliferação de alternativas revela-se um pouco caótica, visto que torna-se complicado gerir as possibilidades que se apresentam.

Desta forma, consideramos necessário relembrar a tipologia referente aos diferentes programas de 3D CAD, que apresentámos no capítulo anterior em que explorámos os processos relativos à obtenção e à criação de dados digitais:

- *Softwares* de Edição de Primitivas;
- *Softwares* de Engenharia Inversa;

- *Softwares* de Modelação 3D:
 - *Softwares* de Modelação Paramétrica;
 - *Softwares* de Modelação Escultórica.

Independentemente dos tipos de programas empregues para a realização de uma escultura digital, importa referir que estes consubstanciam-se como a tecnologia de base e de referência para este fim. Sem o recurso aos *softwares* de 3D CAD seria impossível desenvolver os processos que conduzem à realização de superfícies e de ambientes virtuais, o que nos permite concordar com as posições de Manovich⁶⁶ no que concerne à importância que os *softwares* desempenham na cultura digital.

Presentemente, estes programas estão disponíveis para correrem nas diversas plataformas dos sistemas operativos existentes, apresentando-se sob a forma de soluções comerciais, soluções de *Open-source* e soluções livres. Os dois últimos exemplos que referimos consistem, na maioria dos casos, em subprodutos desenvolvidos a partir das soluções comerciais, embora apresentem limitações de várias ordens na sua utilização. Recentemente, a empresa Onshape desenvolveu uma plataforma livre de 3D CAD que consiste num *software* que é utilizado exclusivamente *on-line*.

Este programa permite, para além dos processos de construção digital, o armazenamento dos trabalhos realizados numa “nuvem” de dados *on-line* (i.e. *cloud*), possibilitando a partilha e o emprego do desenvolvimento das diversas fase de um projeto, por parte dos elementos de uma comunidade. Para este efeito, é necessário apenas um computador – ou um dispositivo móvel – e uma ligação à rede.

⁶⁶ A obra *Software Takes Command* (Manovich, 2013) reflete, precisamente, sobre a importância que os diversos tipos de *softwares* desempenham na nossa cultura e sociedade. Manovich faz, deste modo, uma apologia referente à aplicação destes meios como forma de criação, de acesso e de distribuição de conteúdos culturais na contemporaneidade, influenciando as soluções técnicas e estéticas que advêm desta realidade.

Podemos ainda indicar, como forma de alternativa, as recentes aplicações concebidas para dispositivos móveis, permitindo a modelação 3D em *tablets* ou *smartphones*,⁶⁷ consistindo num autêntico laboratório para o desenvolvimento de um projeto no campo da escultura digital.

Além dos processos de modelação, estes aplicativos permitem ainda o tratamento dos dados, de forma a aplicá-los em ambientes de realidade virtual e/ou na área da prototipagem rápida. Como curiosidade, interessa realçar que estes sistemas funcionam em dispositivos de ecrãs táteis, permitindo o resgate do tradicional gesto manual, para o universo da modelação escultórica.

No entanto, atualmente, as diversas tecnologias informáticas empregues para os processos referentes à criação de ambientes e esculturas virtuais não residem apenas nos *softwares*. A proliferação de soluções de *hardware*, que podemos encontrar nos dias de hoje, constitui-se como um ramo que se apresenta em franca expansão na área das indústrias digitais. Note-se que esta realidade advém da forte implementação dos processos digitais no campo das artes plásticas e do *design*, por vezes sob a forma de uma moda vanguardista, implicando o estudo e desenvolvimentos de novas soluções para estas áreas.

Ao assumirem-se como uma tecnologia inovadora da cultura contemporânea, os meios digitais são, assim, explorados sob diferentes perspetivas, de modo a permitirem lucros para as grandes empresas destas áreas. Deste modo, de acordo com Manovich (2001), o aspeto de moda, que se atribuí aos novos *media*, passa a assumir-se como uma referência institucionalizada e plenamente aceite pela sociedade. Como exemplo desta realidade, enquanto escrevemos estas linhas, podemos lembrar o desenvolvimento exacerbado que se observa nas áreas das tecnologias referentes à realidade virtual. No espaço de um ano, estes sistemas passaram de uma curiosidade obsoleta para o estado de *state of the art* referente à visualização de ambientes espaciais digitais.

⁶⁷ A título de exemplo, podemos indicar o aplicativo 123D Sculpt+, da Autodesk – para Android ou iOS – como uma solução que disponibiliza vários processos de modelação livre, de modelação estrutural de figuras (i.e. esqueletos virtuais), atribuição de cores, de materiais e de mapas de texturas.

Como referimos, os diferentes tipos *hardwares* utilizados para os processos de modelação 3D disponibilizam um conjunto de dispositivos que permitem, ao escultor, operar segundo novas metodologias processuais (Zeman, 2015; Horvath, 2014). Estes tipos de dispositivos são aplicados no campo da visualização de *interfaces* de trabalho, no campo da introdução e modelação de dados e no campo da materialização da escultura digital.

Embora se assumam como tecnologias relativamente novas, já se observam mudanças substanciais nos processos tradicionais referentes à utilização dos meios digitais por parte das comunidades artísticas deste meio. Deste modo, os “velhos” ecrãs e ratos passam, gradualmente, a fazer parte da história da modelação 3D.

De uma maneira geral, o trabalho realizado com os sistemas de CAD é visualizado no ecrã do computador ou, segundo uma nova perspetiva, nos ecrãs dos dispositivos móveis. Acreditamos que este processo irá perdurar mais uns anos, porém, a introdução de dispositivos de realidade virtual e realidade aumentada permitem novas formas de visualização dos sistemas de representação de superfícies e de ambientes virtuais.

Através desta tecnologia, podemos prescindir dos ecrãs como meio de excelência para o desenvolvimento da criação de uma escultura digital. Como iremos observar, os dispositivos de realidades híbridas (e.g. realidade virtual e realidade aumentada) permitem a visualização, em tempo real, de uma superfície de um modo mais dinâmico, acrescentando novas valências à observação das suas estruturas. Assim, através de movimentos laterais da cabeça, o utilizador tem um acesso mais amplo da morfologia do referente, visto que esta imagem é representada de modo a permitir a ilusão da presença do objeto à sua frente.

Os dispositivos periféricos de introdução e edição de dados consistem nas ferramentas utilizadas para o gesto da modelação. Paralelamente aos utensílios aplicados nos processos analógicos, estes dispositivos permitem simular os diversos efeitos táteis e instrumentais sobre a superfície virtual.

Além do tradicional rato, os escultores podem utilizar canetas que permitem atuar de acordo com diferentes intensidades de pressão. Este tipo de ferramenta é utilizado sobre um tapete que capta o gesto e a força aplicada à sua superfície. Nos ecrãs táteis, utiliza-se uma variante deste sistema que consiste numa caneta digital denominada de *stylus*; os parâmetros de pressão são aferidos na superfície do ecrã, traduzindo para o objeto os efeitos de modelação pretendidos. Como apontámos, podemos, igualmente, usar a nossa mão como ferramenta para este fim.

Como alternativa a este tipo de dispositivos, podemos ainda referir os braços articulados para modelação. Esta ferramenta permite acoplar uma caneta digital e tem a particularidade de transmitir os efeitos hápticos, ao utilizador, decorrentes da resposta ao toque na superfície virtual. Deste modo, podemos sentir a oposição e a textura material do objeto.

Recentemente, foram desenvolvidos dispositivos de resposta háptica, que se encontram ligados à unidade de processamento através de conexão de cabo de dados ou através de ligação *Bluetooth*, conferindo maior liberdade ao processo de modelação virtual, devido às suas pequenas dimensões. Como exemplo desta tecnologia, podemos indicar o *Bird*, desenvolvido pela empresa Leonar3do.

Podemos assim imaginar as polivalências operativas que decorrem da utilização simultânea dos dispositivos de visualização de realidade virtual (i.e. óculos 3D) e dos periféricos de introdução de dados espaciais. De um modo paradoxal, decorrente da observação do desenrolar destas tecnologias nas últimas décadas, parece-nos que estamos perante uma evolução tecnológica que se aproxima rapidamente de um estágio em que, o papel físico do escultor será mimetizado por um aparato virtual que se dilui com o real.

Ficcionalando a ciência, podemos, inclusive, profetizar o momento em que os processos de modelação virtual requeiram apenas um par de lentes de contato; com a interatividade necessária e as próprias mãos, poderemos assim conceber uma miríade de

formas, repousando serenamente à beira-mar. Talvez não falte muito tempo para esta realidade.

Em jeito de remate, dentro da temática dos aspetos referentes aos dispositivos de *hardware* existentes, devemos fazer referência aos processos de prototipagem rápida. Como iremos observar no capítulo seguinte, esta tecnologia ocupa um papel de grande relevo na curta tradição da escultura digital. Embora consista em processos de materialização, esta tecnologia é, também, considerada como um produto digital, visto que todos os processos relativos ao seu emprego conformam os meios informáticos.

Assim, após o processo de modelação 3D, o escultor tem a oportunidade de materializar o seu trabalho em diversos materiais, de modo a obter um resultado físico e palpável. A disseminação destas tecnologias é, nos dias de hoje, responsável pelo aparecimento de um grande número de obras escultóricas no panorama das artes plásticas contemporâneas (Mongeon, 2015).

Seguidamente, procuraremos analisar os diferentes processos aplicados ao universo da modelação em 3D, tendo em consideração as alternativas disponibilizadas por dois tipos de sistemas de *softwares*.

5.4.1.

Softwares de Modelação 3D

Do vasto leque de *softwares* de 3D CAD atualmente existentes, optámos por debruçar a nossa análise sobre a tipologia dos programas específicos que abrangem as diferentes operações mais utilizadas no trabalho de modelação e desenho em 3D aplicados ao campo da escultura digital.

De salientar, que cada uma das tipologias refere-se a operações específicas, havendo no entanto a possibilidade de operações de permuta de ficheiros entre elas, ampliando assim o leque de possibilidades e competências de cada programa.

A tipologia referente aos *Softwares* de Modelação em 3D consiste em dois sistemas distintos: os *softwares* de modelação paramétrica e os *softwares* de modelação escultórica ou direta. Cada tipo de sistema é concebido para finalidades e processos distintos, embora, presentemente, possamos observar uma tendência para a fusão de ambos, consistindo em soluções de “super” programas que requerem grandes níveis de proficiência (Zeman, 2015).

Independentemente das escolhas realizadas, estes programas consubstanciam-se como um meio extremamente profícuo para os processos criativos relativos ao universo da escultura digital, em particular, e das artes digitais em geral.

▪ ***Softwares* de Modelação Paramétrica**

Os programas de modelação paramétrica resultam da evolução dos sistemas de engenharia inversa aplicados ao CAD. Como indicámos, os primeiros *softwares* utilizados para os processos de modelação em 3D foram concebidos para as áreas da engenharia e da arquitetura. Decorrente das potencialidades observadas pela sua utilização, estes sistemas foram gradualmente transformados em soluções que permitiam operações específicas para o campo da modelação. No entanto, a sua essência reside em processos de parametrização de dados, possibilitando as alterações formais necessárias para a modelação de superfícies escultóricas, implicando processos mais exigentes para o efeito.

Este tipo de *software* torna-se imprescindível para a construção de objetos em que se pretende grande rigor nas dimensões dos seus elementos, consistindo numa solução ideal para a conceção de formas escultóricas predominantemente geométricas.

Como referimos, estes programas permitem ainda a construção de superfícies complexas, através das *Splines* e das superfícies NURB, possibilitando ao escultor uma variedade de operações referentes à edição formal de um objeto.

Paralelamente ao universo da escultura digital, estes aplicativos são usados no campo do *design* de produtos e no campo da arquitetura, uma vez que disponibilizam processos para a criação de morfologias aplicadas ao seu discurso formal.

Por outro lado, a sua utilização no âmbito da modelação de formas orgânicas (e.g. antropomorfia e zoomorfia) encontra grande relevância, uma vez que permite a construção de malhas específicas para este fim. Assim, não podemos deixar de salientar, mais uma vez, que a modelação paramétrica permitiu a aplicação dos primeiros processos conducentes a este tipo de formas escultóricas.

Podemos ainda referir a importância que emprego deste tipo de programas encontra no campo do projeto da escultura pública. À semelhança do estudo e criação de ambientes virtuais nas áreas da arquitetura, o projeto de escultura pública implica a conceção de espaços e de equipamentos urbanos onde o objeto escultórico será introduzido.

Deste modo, através da utilização destes *softwares*, podemos conceber todas as fases relativas ao projeto de implementação, através das representações dos elementos que constituem o espaço (e.g. arruamentos, edifícios, praças), proceder às respetivas cotagens e construir e apresentar as simulações em 3D referentes às exigências deste tipo de projeto. Como iremos observar, no decurso da lecionação das nossas aulas, utilizamos este tipo de programas para a realização total dos procedimentos relativos ao projeto de escultura pública.

No entanto, a modelação livre digital consiste numa tipologia de *softwares* que apresenta outras formas de alternativas para a criação de esculturas digitais, permitindo um processo mais direto – sem controlo paramétrico – para a obtenção de morfologias orgânicas, contrastando um pouco com a modelação paramétrica.

Porém, interessa referir que os dois processos de modelação 3D permitem exportar e importar os ficheiros realizados para as suas plataformas, possibilitando, por exemplo, a introdução de um objeto, concebido através da modelação livre, num ambiente criado em modelação paramétrica.

Como exemplos mais relevantes, para o âmbito da tipologia destes *softwares*, podemos referir algumas soluções que, no entender geral da especialidade, enformam as características e funcionalidades mais importantes no campo da modelação paramétrica.

No entanto, é importante ressaltar que a alusão que iremos fazer, aos diferentes produtos, não pretende assumir-se como uma forma de publicidade gratuita. Assim, pretendemos apenas apresentar alguns nomes mais paradigmáticos nesta área, de modo a permitir ao leitor possíveis pesquisas.

Conscientes da existência de outras soluções, optámos por fazer referência aos programas que utilizamos com mais frequência na lecionação dos conteúdos das nossas aulas, embora, como referimos, as funcionalidades oferecidas, relativos ao sistema deste tipo de *softwares*, sejam semelhantes.

- Rhinoceros 3D

O Rhinoceros 3D – também conhecido como Rhino ou Rhino3D – consiste numa aplicação comercial de modelação paramétrica em 3D. A sua plataforma é baseada no emprego da tecnologia NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*), permitindo a sua aplicabilidade na criação de projetos referentes ao âmbito da indústria, da arquitetura, do *design* de produtos, das artes digitais e da joalharia (Cheng, 2014).

Como modelador paramétrico, o Rhino3D permite a edição de morfologias complexas não uniformes, revelando uma grande utilidade nos diversos campos da escultura digital. Deste modo, este programa agrega inúmeras operacionalidades nos

processos relativos ao tratamento de dados digitalizados em 3D, à construção e modelação de superfícies, à renderização de ambientes virtuais e à preparação de objetos 3D para a prototipagem rápida. Como podemos observar, este aplicativo assume-se como um meio que reúne, numa única plataforma, os requisitos necessários para o desenvolvimento do projeto de uma escultura digital na sua totalidade.

Como exemplos alternativos a este *software*, podemos indicar outras referências que possibilitam um conjunto de funcionalidades semelhantes na generalidade dos seus aspetos. Contrariamente ao Rhino3D, a grande maioria destes programas permite ainda a criação de animações dos ambientes e figuras virtuais, tendo grande aplicabilidade na indústria da animação 3D e nas áreas da realização de efeitos especiais na indústria do cinema.

Embora estas áreas possam ser encaradas como uma extensão da escultura digital, optámos por excluí-las do âmbito da nossa investigação, uma vez que apenas nos interessa observar os processos relativos à criação e à construção de um objeto escultórico digital.

Deste modo, importa ainda referir, que os diferentes *softwares* que podemos indicar, podem ser encontrados sob a forma de distribuição comercial, distribuição em *Open-source* ou distribuição livre. Algumas destas soluções disponibilizam, ainda, versões livres e versões para estudantes – apresentando algumas limitações em relação à sua versão comercial – que permitem a realização das diferentes fases de um projeto na sua totalidade.

Assim, como exemplo, podemos indicar os seguintes nomes de aplicações de modelação paramétrica em 3D: Maya, LightWave, 3ds Max e Cinema 4D e Solidworks, consistindo em soluções comerciais. Por outro lado, os programas Blender, K-3D e Onshape, são distribuídos em forma de *Open-source* ou livre.

- SketchUp

Segundo a nossa perspetiva, o programa SketchUp consiste numa solução ideal como forma de introdução ao universo da modelação 3D. Consistindo num aplicativo de modelação paramétrica, este sistema apresenta um *interface* gráfico de utilização (GUI) e uma lógica operativa, que permitem assumir a realização das diversas funções de um modo extremamente intuitivo.

Assumindo uma lógica de «simplicidade e eficácia», o SketchUp permitiu, assim, revolucionar as realidades e as tecnologias observadas nas diversas comunidades do universo da modelação 3D (Grover, 2009). Além da sua distribuição comercial, este programa apresenta uma solução livre, que reúne praticamente as mesmas funcionalidades. Decorrente desta realidade, podemos encontrar a aplicabilidade do SketchUp em diferentes áreas profissionais, assim como em diferentes graus de ensino.

Esta aplicação apresenta-se como extremamente versátil e fácil de usar, podendo ser utilizada por qualquer tipo de atividade profissional que necessite de desenvolver rascunhos de produtos tridimensionais. De acordo com Grover (*Op. Cit.*), devido à facilidade de modelação e da realização de estudos formais de volumes em 3D, encontra grande aplicação nas áreas da arquitetura, do *design* de produtos, da engenharia, da escultura e do *game design*.

De um modo geral, o SketchUp é utilizado para a criação de estudos iniciais e de modelos ou maquetas em 3D, eliminando assim a necessidade da sua execução material. Embora apresente algumas limitações – relativamente aos programas que referimos acima – esta plataforma de modelação permite a aplicação de inúmeros módulos de extensão (i.e. *plug-in*) que ampliam as suas funcionalidades.

Devido a facilidade da sua utilização, os trabalhos realizados com este *software* podem ter um carácter de esboço 3D. Assim, esta aplicação permite a criação de estruturas em “bruto” que podem ser, posteriormente, exportadas para plataformas mais

potentes de modo a obtermos um resultado final que requeira um grau superior de complexidade morfológica.

Como conclusão, podemos depreender que o SketchUp pode ser encarado como um meio extremamente útil para o desenvolvimento das exigências iniciais da metodologia processual aplicada à criação de uma escultura digital. Através deste programa, e apenas com conhecimentos básicos de modelação 3D, o escultor pode ensaiar diversas soluções no campo formal, na aplicação de texturas e materiais, na simulação de efeitos lumínicos e na renderização de imagens. O SketchUp permite, ainda, a conceção de desenhos técnicos e representações em perspetiva de ambientes e dos respetivos objetos 3D que o compõem. Como alternativa a este programa, podemos indicar o 123D Design e o Wings 3D, consistindo em aplicações de distribuição livre.

▪ ***Softwares de Modelação Escultórica***

Os programas de modelação escultórica – também denominados de modelação livre ou modelação direta – estão relacionados com a introdução de novos processos paradigmáticos no âmbito da criação e da tecnologia da escultura digital (Zeman, 2015).

Como observámos, a modelação paramétrica em 3D consiste num processo em que as diversas alterações morfológicas podem ser aferidas a partir de operações específicas (comandos de edição volumétrica) e/ou da atribuição de valores aos elementos estruturais da forma. Deste modo, estes processos consistem, essencialmente, na deformação da malha poligonal da superfície, assim como na translação dos seus elementos de controlo. Como podemos depreender, este sistema de modelação compreende uma alternativa que dista francamente do gesto natural analógico (i.e. gesto manual).

O desenvolvimento e a introdução dos programas de modelação escultórica procuram, precisamente, ultrapassar esta limitação. Consistindo numa tecnologia

relativamente recente, estes sistemas permitem ao escultor replicar o gesto de modelação, e a respetiva consequência material, sobre uma superfície virtual. Como podemos depreender, não podemos afirmar que estes processos consigam mimetizar, em pleno, o ato de modelar, tendo em consideração que estamos perante a utilização de um meio digital.

No entanto, como fizemos referência, já podemos encontrar dispositivos que permitem um diálogo satisfatório entre o “Homem e a Máquina.” Assim, ao leitor destas linhas, resta-lhe apenas – se assim o desejar – experimentar estas tecnologias de modo a poder tecer as considerações subjacentes à sua utilização.

Os programas de modelação escultórica servem, principalmente, para a criação de objetos 3D de morfologia orgânica, embora permitam a construção de formas predominantemente geométricas. Assim, a sua aplicabilidade encontra-se, de um modo particular, no campo da modelação de figuras e/ou fragmentos antropomórficos, zoomórficos e de figuras “fantásticas” (e.g. figuras da ficção científica).

Os elementos de construção utilizados por este tipo de *softwares* consistem na simulação de matérias moldáveis (i.e. como o barro, ou a plasticina) permitindo a sua modelação através de um conjunto de ferramentas digitais que se assemelham aos utensílios utilizados nos processos analógicos.

A metodologia empregue para estas finalidades implica um percurso semelhante ao da escultura tradicional. Como exemplo, para modelarmos um busto ou uma cabeça humana, começamos por utilizar uma forma esférica que, gradualmente, vai tomando a configuração geral pretendida. Nesta fase, as malhas das superfícies são compostas por um número reduzido de polígonos, permitindo aligeirar as diferentes alterações morfológicas, quer ao nível de velocidade de processamento, como ao nível de desenvolvimento do próprio trabalho. Com o desenrolar do processo de modelação, podemos assim atribuir um maior número de polígonos à superfície, de modo a efetuarmos a fase de refinamento e acabamento dos pormenores morfológicos.

Para concebermos uma figura humana em 3D, através da modelação livre, começamos por construir uma estrutura virtual articulada por elementos esféricos. Esta estrutura pode ser configurada de acordo com as posições que a figura irá apresentar e, posteriormente, será convertida numa malha de superfície poligonal de modo a poder ser modelada. Como explicámos acima, o número de polígonos é acrescentado de acordo com a evolução dos diferentes níveis de pormenor da superfície trabalhada.

As diferentes ferramentas digitais, disponibilizadas para as operações de modelação livre, encontram-se organizadas de acordo com as diversas funções que podem desempenhar. Além desta tipologia, podemos controlar parametricamente as dimensões radiais e a intensidade de contato efetuado sobre a superfície pelo cursor.

Assim, numa primeira fase, iremos selecionar as ferramentas que permitem a deslocação do material virtual. Este processo atua sobre a superfície de modo a simular os gestos de pressão e/ou de tração segundo qualquer direção, possibilitando os ensaios necessários até atingirmos a configuração básica que se pretende. É nesta fase que se conferem as depressões e as elevações à matéria virtual da superfície, que configuram o aspeto geral da morfologia da escultura.

Na fase subsequente desta metodologia, respeitante aos processos de refinamento e de pormenorização do relevo da superfície, podemos assim utilizar as ferramentas que nos permitem simular as operações referentes à deposição e à extração da matéria escultórica. Através de processos de talhe, de gravação e de adição de material, temos a possibilidade de atribuir, gradualmente, as formas específicas que pretendemos modelar na superfície.

Para os procedimentos de acabamento do objeto, dispomos de um conjunto de ferramentas que permitem suavizar, polir, enrugar e decalcar texturas sobre a superfície. Os comandos de decalque de texturas podem evoluir formalmente de um modo positivo ou negativo, simulando os utensílios utilizados nos processos analógicos de modelação (e.g. maço, goivas, tecos lisos e dentados).

Por fim, se optarmos por esta alternativa, podemos atribuir mapas de materiais ou conferir efeitos cromáticos aos objetos realizados, de modo a obtermos um grau elevado de realismo nos processos de renderização dos modelos 3D.

Como podemos concluir, os *softwares* de modelação escultórica enformam um conjunto de processos que permitem a criação de inúmeras morfologias orgânicas virtuais. Recorrendo a ferramentas digitais, que se aproximam da prática e das soluções analógicas, entendemos que este tipo de aplicativos oferecem alternativas para os processos de criação escultórica, quer a nível material como a nível digital.

Como salientámos, não pretendemos observar os meios digitais como substitutos da práxis tradicional da escultura. No entanto, consideramos que estes meios tecnológicos não devem ser encarados de uma forma marginal, uma vez que contribuem para o desenvolvimento de novos discursos e novas poéticas no âmbito da escultura contemporânea.

Resta-nos, ainda, fazer uma breve referência aos diversos *softwares* que se encontram disponíveis para a modelação digital escultórica. De um modo geral, as suas características encontram-se em conformidade com os aspetos operacionais que acabámos de descrever.

No entanto, decorrente da nossa experiência profissional e pessoal, podemos apontar o programa ZBrush como um dos exemplos mais completos e paradigmáticos para a área da modelação digital direta. Este aplicativo permite a elaboração de diversas formas orgânicas sem a necessidade de grandes conhecimentos de modelação 3D, uma vez que simula eficazmente os processos analógicos referentes às necessidades operativas desta prática escultórica.

Como poderemos observar, no decorrer das nossas aulas de modelação em 3D, do 2º ciclo de estudos, temos verificado que os nossos alunos conseguem conceber um retrato virtual quase de imediato. Embora, para este efeito, necessitem apenas de um período de aprendizagem para o entendimento da funcionalidade das diferentes

ferramentas digitais, uma vez que as aprendizagens de modelação de figura humana são apreendidas no ciclo de estudos anterior.

Como alternativa a este programa, podemos indicar outras soluções que disponibilizam o mesmo tipo de operações e cujos processos metodológicos são idênticos. Assim, no que se refere a soluções de distribuição comercial, encontramos as seguintes aplicações: Mudbox, desenvolvido pela Autodesk, o Cinema 4D, da Maxon e o 3D-Coat. Em alternativa, e sob a forma de distribuição livre, podemos indicar o Sculptris (uma versão simplificada do ZBrush e desenvolvido pela mesma empresa), o Meshmixer e o 123D Sculpt+ (ambos da Autodesk) como os programas mais empregues na área da modelação digital escultórica.

5.5.

Pré-Aplicação de Dados

Como conclusão deste capítulo, referente aos processos de tratamento e edição de dados digitais, resta-nos referir os procedimentos relativos à pré-aplicação de dados. Como iremos observar, a aplicação de dados digitais refere-se a duas áreas principais: a área da aplicação material, que consiste na tradução física do modelo através da prototipagem rápida, e, em alternativa, a área da aplicabilidade do modelo 3D no universo digital, com o recurso às tecnologias das diversas plataformas de realidade híbrida. Assim, e de acordo com as diferentes opções empregues, importa salientar que os modelos 3D devem ser exportados segundo extensões específicas para as áreas em questão.

A preparação de um modelo 3D implica uma metodologia de controlo, realizada a diversos níveis, para a sua aplicação aos diversos processos de prototipagem rápida. Deste modo, a morfologia do objeto deve ser completamente hermética, uma vez que que o código que gera a transmissão de informação, entre o processador e o *hardware*

de prototipagem, não reconhece as áreas incompletas da superfície (Hauseman & Horne, 2014).

Por outro lado, o processo de análise volumétrica identifica apenas a superfície exterior da morfologia do modelo. Assim, a duplicação de elementos estruturais (e.g. arestas e faces) pode traduzir-se numa interseção que irá gerar informações erradas para a materialização do referente. De um modo geral, estes aspetos são observados aquando da aquisição de dados volumétricos através da digitalização 3D. Como referimos, os processos de reparação de malhas pode ser realizado através de aplicativos específicos, disponíveis para este fim.

Outro aspeto, que devemos ter em consideração, encontra-se relacionado com o número e densidade de polígonos que formam a malha da superfície do objeto. Como observámos, os processos de modelação 3D implicam a multiplicação gradual dos polígonos durante o desenvolvimento das diversas fases de conceção.

Deste modo, o resultado final da malha do objeto traduz-se numa morfologia densa e extremamente complexa, dando origem a possíveis erros no código gerado para CAM. A resolução deste problema consiste num processo de cálculo de retopologia da superfície 3D, que permite reduzir significativamente o número de polígonos que constituem a malha, sem, no entanto, alterar a sua morfologia geral. Este sistema possibilita, ainda, aligeirar a capacidade de informação dos ficheiros a exportar, facilitando a sua aplicabilidade nas aplicações de prototipagem rápida. De um modo geral, os ficheiros dos modelos 3D são exportados sob a forma de OBJ, ou STL, para a sua utilização nas plataformas de CAM.

Relativamente aos processos da pré-aplicação de dados, para utilização em aplicações digitais, devemos ter em atenção os seguintes aspetos: por um lado, as atribuições dos materiais, dos mapas de texturas, dos efeitos cromáticos e dos efeitos lumínicos, devem ser previamente ensaiadas através de configurações que permitam criar resultados de baixa resolução.

Deste modo, o período de tempo despendido, para a renderização dos ambientes e objetos virtuais, reduz-se substancialmente, possibilitando a realização das diversas alterações necessárias de uma forma mais eficaz. Após à concretização dos ensaios, o modelo 3D pode assim ser exportado para motores específicos de renderização de imagens. Como exemplo, podemos indicar que estes ficheiros são exportados sob o formato OBJ ou FBX.

Em alternativa, consistindo nas soluções mais práticas e usuais, o processo de renderização pode ser realizado “dentro” da plataforma do *software* de modelação 3D, se este o permitir, sem termos as preocupações da exportação e importação de ficheiros entre diferentes sistemas.

Por fim, devemos referir que os processos de retopologia de superfícies 3D são, igualmente, empregues nos procedimentos para a aplicação de modelos nas diversas plataformas digitais. Esta necessidade é de extrema relevância para a observação de ambientes virtuais em dispositivos de realidade híbrida, uma vez que estes implicam a renderização de imagens em tempo real, de modo a criarem as ilusões pretendidas.

A aplicação dos dados de um modelo 3D conforma, assim, o último estágio do processo relativo à criação de uma escultura digital. Podemos depreender que, decorrente da sua essência, é através das diversas aplicabilidades que objeto escultórico digital assume as vontades e as finalidades do seu criador, podendo finalmente constituir-se como obra de arte.

No capítulo seguinte, procuraremos então explorar os diversos âmbitos de aplicabilidade de uma escultura digital, tendo como referências as artes plásticas, os processos de ensino e de aprendizagem, a criação e manutenção de acervos escultóricos e, por fim, as possíveis distribuições comerciais e livres, resultantes dos produtos referidos.

CAPÍTULO 6.

APLICAÇÃO DE DADOS

A fase de aplicação de dados encontra-se, naturalmente, relacionada com os processos conducentes aos resultados finais pretendidos, decorrentes da aplicação metodológica, que temos vindo a descrever, de modo a criar uma escultura digital.

Tomando como ponto de partida a aquisição de dados volumétricos de um referente, e passando pelos vários estágios de tratamento da informação de um modelo 3D, chegamos assim à fase final do decurso desta ordem de procedimentos, cujo propósito assenta nas diferentes utilizações possíveis a atribuir a um produto digital acabado.

O universo das aplicabilidades que podemos conferir aos dados tratados na fase anterior abrange uma multiplicidade de soluções que, fruto de uma realidade um tanto ou quanto etérea, encontra novas propostas enquanto escrevemos estas linhas; a evolução dos meios e tecnologias digitais é de tal modo frenética que muitas das formas de expressão artística, ditas recentes, tornam-se obsoletas e são consideradas *démodée* num curto período de tempo.

Por outro lado, esta realidade tem outra particularidade que se revela um pouco inapropriada para quem pretende desenvolver uma investigação no âmbito daquela que nos propusemos realizar: decorrente de uma «sôfrega» evolução tecnológica, consegue resgatar soluções preteridas de uma história recente, revelando corolários nostálgicos – que há muito eram considerados como referências embrionárias de processos

tecnológicos digitais – para lugares de destaque do quotidiano da produção de arte digital contemporânea.

Como tivemos oportunidade de referir, as diferentes soluções de aplicação de uma escultura virtual assumem-se como o fator que distingue as áreas que nos permitem encarar os meios digitais segundo duas perspetivas.

Por um lado, podem ser observados como novas propostas tecnológicas a empregar. Em contrapartida, os meios digitais podem consubstanciar-se como um *medium* de expressão artística, empregue nas alternativas e no discurso escultórico contemporâneo.

Deste modo, podemos considerar as seguintes soluções como os dois grandes campos de ação relativos aos processos da aplicabilidade de uma escultura digital:

- Aplicação Material;
- Aplicação Digital.

6.1.

Aplicação Material

As soluções relativas aos processos da aplicabilidade material, de um modelo 3D, têm como referência os sistemas de CAD/CAM.⁶⁸ Esta tecnologia permite a materialização física de modelos digitais concebidos através dos processos de computação gráfica. Na área da escultura, podemos referir que a introdução destes dois

⁶⁸ Os sistemas de CAD/CAM conjugam os processos da manufatura assistida por computador (CAM) com as tecnologias referentes à criação de formas 2D e 3D através do desenho assistido por computador (CAD). A junção destes dois processos tem grande aplicabilidade nas diversas áreas da indústria, permitindo a tradução física – sobre diferentes materiais – dos elementos formais projetados em ambiente CAD.

sistemas tem uma tradição considerável, uma vez que permitem a construção industrial de elementos com grande rigor. Na maioria dos casos, estes processos são empregues na construção de obras de grande vulto ou na área da fundição.

Deste modo, depreendemos que a aplicação das “novas” tecnologias digitais, no campo da escultura, consiste num processo que, curiosamente, desenvolve-se desde o século passado. Em jeito de desabafo, podemos mencionar que encontramos opiniões menos positivas sobre a aplicabilidade dos meios digitais na escultura. Posteriormente, acabamos por perceber que estas opiniões são proferidas por artistas, cujas obras são concebidas industrialmente, recorrendo, precisamente, às tecnologias digitais.

Além das soluções industriais de CAD/CAM, podemos encontrar uma outra opção referente a estes sistemas que, atualmente encontra uma forte disseminação na área da escultura: a prototipagem rápida.

Esta tecnologia divide-se em dois processos – aditivo e subtrativo – sendo o último de utilização exclusivamente industrial. Saliente-se que no decurso da nossa investigação, pretendemos apenas observar os aspetos referentes aos processos de prototipagem rápida aditiva (i.e. impressão 3D), embora possamos referir algumas particularidades da manufatura subtrativa.

Assim, como referimos, a prototipagem rápida apresenta outra alternativa para a materialização de um modelo 3D, consistindo nos processos de manufatura subtrativa, que se realizam através de máquinas denominadas de CNC *Milling*. Embora esta tecnologia seja anterior aos processos de impressão 3D, apresenta grandes vantagens nos processos de conceção de esculturas.

As CNC *Milling* permitem a extração de matéria rígida de uma superfície (e.g. pedra, madeira, metal e plástico) através de diferentes dispositivos de desbaste circular (i.e. brocas). Este processo é realizado segundo um eixo de direção vertical ou horizontal e a superfície do modelo encontra-se sobre uma plataforma.

Atualmente podemos encontrar soluções que recorrem a um braço robótico articulado, permitindo o desbaste segundo vários eixos. Na área da escultura, é recorrente o uso desta tecnologia para a realização de diversas morfologias, criadas em 3D, sobre pedra ou madeira (e.g. estatuária e formas geométricas).

No entanto, as CNC *Milling* encontram algumas limitações para a construção de formas complexas. Além de implicar custos consideráveis, este tipo de tecnologia envolve o emprego de processos industriais; como consequência, este sistema não encontra grande relevância para a realização de ensaios formais, afastando-se também de ambientes de aprendizagem e experimentação na área da escultura.

Como indicámos, optámos por explorar as soluções oferecidas, para a aplicação de modelos digitais, através dos processos de prototipagem rápida aditiva. Deste modo, seguidamente procuraremos examinar as diferentes valências, e as alternativas possíveis, decorrentes do seu emprego. Sucintamente, apresentamos as seguintes soluções possíveis relativas à aplicabilidade material de um modelo digital:

- **Aplicação Material** → Prototipagem Rápida Aditiva
 - Modelo:
 - Estudo;
 - Acervo;
 - Distribuição;
 - Escultura Física.

- Moldes:
 - Estudo;
 - Acervo;
 - Distribuição.

A escolha destas opções pretende conjugar duas realidades distintas. Por um lado, tencionamos apresentar um conjunto de práticas que se desenvolvem no campo profissional da escultura. Por outro, indicar algumas propostas, que iremos explorar no capítulo seguinte, que se encontram relacionadas com o ensino da escultura, tendo em consideração a utilização dos meios digitais nestas realidades.

No entanto, antes de nos ocuparmos destas soluções, julgamos necessário proceder à exploração dos aspetos técnicos e operativos, que conformam a aplicabilidade dos processos da prototipagem rápida aditiva.

6.2.

Prototipagem Rápida Aditiva

O fenómeno da Prototipagem Rápida é considerado, por muitos autores, como uma revolução mais profunda e, em certos aspetos, mais difícil de conjecturar do que a gerada por Johannes Gutenberg nos meados do Século XV. Embora seja uma afirmação precoce, podemos assistir a maciças transformações nas áreas da produção de objetos referentes a múltiplas realidades.

Este fenómeno assume, nos dias de hoje, dimensões pertinentes no campo da medicina, na área do *design* de produtos, na arquitetura e, entre outros, na resolução de problemas estruturais da nossa sociedade. Como Hauseman e Horne referem:

«Está actualmente em curso uma transformação incrível na manufactura de quase todos os tipos de produtos, que promete transformar o futuro num ambiente sustentável e personalizado. No futuro próximo, tudo o que necessitamos – desde produtos, comida e até mesmo os nossos corpos – poderá ser rapidamente substituído e reconstruído e com o mínimo de desperdício. Não se trata de um lento e pequeno progresso de uma geração de iPhone para outra, mas sim de uma verdadeira revolução que espelha as mudanças que apresentaram o mundo à Era Industrial e que trouxeram a luz e a electricidade até nossas casas.

Este não será, de certo, um “golpe misericordioso”; qualquer mudança verdadeiramente fundamental que abranja todos os aspectos da economia global, será por natureza, perturbadora. Mas, formas tradicionais ineficazes de produzir o modelo de nova geração, abrirão sem dúvida, totalmente o caminho a novas oportunidades, impossíveis de imaginar até agora. A tecnologia por detrás desta transformação é referida como manufactura aditiva, impressão 3D ou manufactura digital directa».⁶⁹
(tradução nossa).

⁶⁹ «An amazing transformation is currently under way in manufacturing, across nearly all types of products – at transformation that promises to remake the future into a sustainable and personally customized environment. In this fast-approaching future, everything we need — from products to food, and even our bodies themselves – can be replaced or reconstructed rapidly and with very minimal waste. This is not the slow change of progress from one generation of iPhone to the next, but instead a true revolution, mirroring the changes that introduced the world to the Industrial Age and then bought light and electricity to our homes and businesses.

This will not be a “bloodless coup” by any means; any truly fundamental change that spans all aspects of the global economy will, by its nature, be disruptive. But traditional inefficient ways of producing the next year’s model will surely give way to entirely new opportunities impossible to imagine before. The technology behind this transformation is referred to as additive manufacturing, 3D printing, or direct digital manufacturing».

(Huseman & Horne, 2014: 9).

Os processos de manufatura aditiva consistem na utilização de diversos tipos de impressoras 3D, de modo a obtermos a materialização física de um modelo digital em diversos materiais. A tecnologia empregue na manufatura aditiva pertence, assim, aos processos referentes aos sistemas de CAD/CAM (Hauseman & Horne, 2014; Horvath, 2014; Evans, 2012).

Deste modo, a manufatura aditiva permite a construção da superfície de um objeto – criado em 3D – através da impressão de camadas sucessivas de “fatias” que se sobrepõem umas às outras. A primeira camada impressa refere-se à base do objeto, e as restantes são depositadas de modo a obtermos a configuração total da forma.

Este processo permite, assim, a construção de morfologias complexas que, seriam impossíveis de realizar através dos métodos tradicionais de manufatura (e.g. injeção de material em moldes e extração de matéria a partir de um bloco).

Embora este tipo de tecnologia já se encontre disponível há uns anos, só recentemente é que tivemos a possibilidade de assistir à sua proliferação generalizada, através de soluções comerciais, assim como soluções em *Open-source*, com custos extremamente acessíveis.

A impressão em 3D apresenta-se segundo uma tipologia que agrega diversos sistemas tecnológicos, que diferem nos processos de impressão e nos materiais utilizados para este efeito. Além de implicarem diferentes custos, podemos referir que, cada tipo de impressão permite resultados, e aplicações, diferentes. De qualquer modo, as lógicas operativas aplicadas a estes sistemas consistem, pouco mais ou menos, no desenvolvimento de processos idênticos.

De acordo com Hauseman e Horne (*Op. Cit.*) a impressão das diversas camadas de material pode ser realizada de diversos modos: através da fusão a *laser* de polímeros líquidos; através da solidificação de partículas granulares, recorrendo ao *laser* ou a compostos aditivos (i.e. cola ou laca) e através da deposição de materiais termoplásticos, com o recurso a uma cabeça de extrusão.

De acordo com estes autores, podemos ainda referir as principais vantagens, resultantes do emprego das tecnologias de manufatura aditiva:

- Personalização do produto;
- Realização de formas complexas;
- Sustentabilidade dos processos;
- Reciclagem de materiais;
- Economia de escala.

Como podemos depreender, as vantagens indicadas assumem-se como características de grande relevância nos âmbitos do desenvolvimento profissional do escultor, assim como no do ensino da escultura.

Desta forma, presentemente podemos indicar as seguintes alternativas no campo da tecnologia da impressão 3D, tendo em consideração as diferentes tecnologias e os materiais empregues nestes processos:

- Fotopolimerização;
- Deposição Granular;
- Laminação;
- Deposição de Material Fundido.

Seguidamente, procuraremos explicar os aspetos operativos destas diferentes tecnologias, assim como as características dos materiais empregues e as diversas aplicabilidades específicas para cada exemplo de impressão 3D.

▪ **Impressão 3D**

Criada em meados dos anos 80 do século passado, embora de um modo embrionário, a impressão 3D consubstancia-se como um meio de produção característico da sociedade digital e dos processos contemporâneos de manufatura de objetos, geminando numa relação intrínseca, e inseparável, com a modelação e com a digitalização 3D, cujas tendências remetem para evoluções exponenciais.

Através da impressão 3D podemos descarregar ficheiros 3D da internet e fabricar um vasto leque de objetos necessários para as necessidades do dia-a-dia: utensílios de cozinha, componentes específicos para arrumação de escritório ou do lar, calçado e roupa, entre muitos outros exemplos. Existem, inclusive, impressoras cujos componentes são produzidos posteriormente à compra, permitindo ao utilizador e consumidor a conclusão da montagem das mesmas.

Assistimos assim ao fenómeno “assustador” da máquina que detém o poder de se autoconstruir, carregando a nossa realidade com os fantasmas, por vezes mal resolvidos, do campo da ficção científica. Os limites deste processo são inimagináveis: prevê-se, num futuro próximo, que no campo da investigação científica da área da medicina seja possível a impressão de órgãos humanos para a área dos transplantes.

A fabricação de próteses 3D é já uma realidade corrente no âmbito da ortopedia e, a título de exemplo, na cirurgia cardiotorácica, assim como a aplicabilidade de tecidos impressos na reconstrução e tratamento de patologias do foro da cirurgia plástica.

No campo das artes plásticas, a impressão 3D encontra na esfera da produção escultórica contemporânea, um nicho de eleição e desenvolvimento. Aliando a modelação 3D aos processos criativos, observamos, cada vez mais, a introdução e utilização destes processos na realidade da produção artística, assumindo uma posição de destaque relativa à experimentação e investigação, que conduzem à formação de novos paradigmas formais, tecnológicos e processuais, cujo resultado acaba por transformar a poética e estética da escultura contemporânea.

A prototipagem rápida define-se como um conjunto de processos tecnológicos que permitem fabricar modelos físicos tridimensionais diretamente a partir de um desenho realizado em 3D CAD. Os modelos são construídos por camadas sucessivas de material, não havendo, assim, a necessidade de utilizar quaisquer tipos de ferramentas para este efeito. As impressoras 3D replicam o modelo digital, recorrendo a deslocamentos, da cabeça de impressão, de acordo com um referencial cartesiano de coordenadas espaciais.

Os sistemas de prototipagem rápida ocupam um papel de destaque para o estudo e desenvolvimento de novos produtos, uma vez que na fase inicial servem para testar o *design* e a funcionalidade dos componentes projetados. Numa fase mais avançada do projeto, permitem obter objetos finais de produção, de menor custo e em menor tempo, destinadas ao fabrico de pré-séries para os ensaios dos componentes e para o projeto dos objetos definitivos.

De um modo geral, os procedimentos aplicados aos sistemas de prototipagem rápida existentes são constituídos por cinco etapas básicas:

1. Criação da morfologia do objeto que se pretende imprimir, em 3D CAD;
2. Conversão do arquivo 3D CAD no formato STL ou OBJ, específicos para este processo;

3. «Fatiamento» da volumetria do modelo 3D em finas camadas transversais, através de *software*. Este processo é conhecido por *slicing*;
4. Construção física do modelo, através da aglomeração de camadas, ou recorrendo à tecnologia da CNC *milling*;
5. Limpeza e acabamento do protótipo.

Como principais exemplos de prototipagem rápida, apresentamos os seguintes:

- **Fotopolimerização**

A impressão em 3D, através da tecnologia de fotopolimerização, consistiu no primeiro processo desenvolvido na área da prototipagem rápida aditiva. Conhecida como Estereolitografia (*Stereolithography*), ou SLA, esta solução tecnológica foi patenteada em 1986, dando origem à revolução da prototipagem rápida ou, de acordo com Horvath (2014), à chamada Terceira Revolução Industrial.

A fotopolimerização permite construir objetos em materiais que se encontram em estado líquido e que, através da incidência de radiação laser, transformam-se em sucessivas camadas, em estado sólido. Estes materiais, denominados de fotopolímeros, são sensíveis a determinados comprimentos de onda de luz, permitindo a sua solidificação.

Este processo é realizado sobre uma plataforma que se encontra sobre um reservatório de matéria líquida (e.g. resina epóxi ou resina acrílica) onde uma radiação de luz ultravioleta desenha a configuração da camada previamente fatiada. Posteriormente, esta plataforma mergulha novamente no líquido, de modo a permitir a criação de uma seção seguinte e respetiva impressão.

Através da deslocação descendente da base do objeto, a impressora repete este processo até obter a totalidade da forma que se pretende. Terminado o processo de impressão, os objetos são removidos do banho de polímero líquido e são lavados de modo a serem introduzidos num forno de radiação ultravioleta para serem submetidos a uma cura completa.

A fotopolimerização permite obter objetos com resultados que apresentam grande detalhe e rigor volumétrico. Atualmente podemos encontrar soluções que envolvem custos acessíveis para a sua utilização a nível pessoal ou ao nível do ensino.

Esta tecnologia encontra grande adesão na área da prototipagem rápida no âmbito da escultura digital, permitindo a realização de morfologias complexas de pequenas dimensões. Este processo é também utilizado no campo da joalharia, medalhística e numismática, permitindo o desenvolvimento projetual e os respetivos ensaios necessários para o efeito.

Os processos de fotopolimerização são, igualmente, aplicados num outro sistema de impressão 3D que recorre à deposição material através de jato de tinta de líquidos de polímeros. Este processo, conhecido como *PolyJet 3D Printing*, permite utilizar diferentes materiais e cores, que são mantidos em diversos reservatórios, para a impressão das diferentes camadas do objeto, sem recorrer ao banho líquido. Através de radiação laser, a solidificação dos materiais é realizada, em simultâneo, com a passagem das cabeças de impressão.

Paralelamente a qualquer alternativa de impressão 3D, a fotopolimerização permite apenas a construção de objetos de pequenas dimensões. De um modo geral, o volume de impressão destes dispositivos refere-se a um espaço cúbico com aproximadamente 30 centímetros. Podemos depreender que estas dimensões não possibilitam a construção de formas de grandes dimensões, embora, para este efeito, seja possível a impressão por partes que, posteriormente são ligadas entre si. Em alternativa, existem atualmente impressoras para grandes formatos volumétricos, no entanto, os seus custos são ainda muito elevados para uma utilização pessoal.

▪ **Deposição Granular**

A impressão 3D através dos processos de deposição granular emprega diversos tipos de materiais pulverulentos (i.e. em forma de pó) para a construção dos objetos. Os materiais granulares utilizados abrangem os polímeros, os polímeros elastómeros, os metais e as cerâmicas.

Comparativamente a outros processos de impressão 3D, a deposição granular permite a construção de morfologias complexas, sem termos a necessidade da adição de estruturas de apoio.

Como a construção do objeto é feita dentro de um volume de material pulverulento, a sua estrutura é, assim, amparada pelo próprio pó que não é solidificado. A fase final deste processo implica a remoção do material em excesso, sendo reutilizado posteriormente.

A solidificação dos materiais granulares pode ser realizada de acordo com as seguintes técnicas:

- Ligação;
- Sinterização;
- Fusão.

Deste modo, passamos de seguida a explicar o funcionamento destes três tipos de processos de adição granular e das características dos materiais empregues para a impressão 3D de objetos.

- Ligação

A impressão de deposição granular, através do processo de ligação, aplica compostos de adição (i.e. cola) aos materiais pulverulentos através de jato de tinta, de modo a solidificar as diversas camadas que configuram o objeto a construir.

Paralelamente aos processos utilizados nas impressoras 2D tradicionais, este sistema imprime seletivamente a configuração das diferentes camadas sobre um tabuleiro que contém o material granular. O tabuleiro – ou cama de pó – é rebaixado de modo a permitir a deposição de outra camada de material, repetindo-se o processo de impressão da seção seguinte, até obtermos o objeto na sua totalidade. Este método utiliza pós cerâmicos que permitem a realização de objetos ou moldes para a aplicação em diversas áreas da escultura. Este processo de impressão é também conhecido como *Multi Jet Modeling*, *Powder bed* ou *inkjet head 3D printing*.

Além das particularidades relativas à construção física de um referente, esta tecnologia tem a singularidade de permitir a atribuição de cores às superfícies impressas sobre áreas distintas.

- Sinterização

A tecnologia referente ao processo de sinterização permite a solidificação dos objetos através de temperaturas abaixo do ponto de fusão dos materiais empregues para a impressão. Este sistema, conhecido como Sinterização Seletiva a Laser, ou SLS (*Selective Laser Sintering*) foi patenteado em 1989.

Recorrendo à radiação laser, os materiais pulverulentos são sinterizados entre si, de forma seletiva. Assim, e paralelamente ao processo descrito anteriormente, as configurações das diferentes camadas do objeto são desenhadas, sobre uma cama de pó

fusível por calor, através de um feixe de radiação laser. Os materiais utilizados neste processo de deposição granular consistem, por exemplo, em metais e polímeros, permitindo a construção de componentes industriais de grande resistência.

- **Fusão**

O processo de impressão 3D, realizado por fusão, é semelhante ao sistema de sinterização. No entanto, esta tecnologia permite a solidificação dos materiais através de temperaturas acima do ponto de fusão, resultando em objetos fundidos, apresentando características de resistência extrema. Estes processos são atualmente utilizados na indústria aeronáutica para a realização de componentes de motores.

Na área da escultura, os dois últimos processos que indicámos têm sido aplicados na construção de objetos em metal que, anteriormente, requeriam a utilização dos sistemas tradicionais de fundição industrial. Deste modo, a sinterização e a fusão seletiva representam uma alternativa importante no campo da escultura digital, uma vez que permitem a conceção de obras com custos mais reduzidos.

- **Laminação**

A impressão 3D através dos sistemas de laminação compreendem processos que implicam uma aproximação diferente daqueles a que temos vindo a fazer referência. Este tipo de impressoras recorta a configuração das diversas camadas do referente de modo a obter a forma total do objeto.

Este processo de corte é aplicado sobre folhas, de diferentes materiais, correspondendo, cada uma delas, a uma secção transversal do objeto. Posteriormente, estas folhas são coladas entre si para a criação da volumetria física do objeto.

Os materiais utilizados nestes processos de prototipagem consistem em metais, madeira, plásticos, papel e cartão. Como podemos depreender, esta tecnologia baseia-se nos princípios da estereotomia de topologias, empregues na área da escultura e da arquitetura.

Os objetos realizados através dos processos de laminação não permitem a obtenção de grande rigor formal e apresentam uma baixa resistência estrutural. No entanto, podemos referir que esta tecnologia assume-se como uma alternativa atraente para o desenvolvimento de estudos formais exploratórios na área da escultura, uma vez que requer uma utilização muito simples e emprega materiais de baixo custo.

Como curiosidade, podemos referir que atualmente este tipo de impressoras encontra grande aceitação na sua aplicação doméstica, pois não apresenta grandes perigos na sua utilização, permitindo a construção dos mais variados objetos por uma criança.

▪ **Deposição de Material Fundido**

O fenómeno da prototipagem rápida aditiva deve-se, em grande parte, às impressoras 3D através da deposição de material fundido. Esta tecnologia foi patenteada nos finais dos anos 80, e tem vindo a assumir-se como a forma mais disseminada de manufatura aditiva nas comunidades 3D.

De certo modo, o desenvolvimento deste sistema de impressão 3D tem contribuído para a exploração e aparecimento de inúmeros aplicativos de modelação digital. Através da ligação destas duas realidades tecnológicas, podemos atualmente observar uma multiplicação de manifestações no campo da escultura digital, democratizando largamente a divulgação das formas de expressão das gerações mais recentes de artistas.

A tecnologia de deposição de material fundido, também conhecida como FDM (*fused deposition modeling*), constitui-se num processo de impressão 3D que permite a construção física de um modelo através da deposição de camadas de plástico fundido.

Este sistema funciona através da extrusão de filamentos de resina termoplástica, recorrendo a uma cabeça de impressão, que se desloca sobre uma base de construção (plano horizontal xy), de modo a imprimir a configuração da primeira camada referente à base do objeto. Posteriormente, as sucessivas camadas que configuram o modelo são impressas sobre a primeira, de maneira a obtermos a volumetria completa pretendida.

Dependendo do material utilizado para a impressão, a base de construção pode ser aquecida de modo a respeitar as características dos termoplásticos, impedindo a sua deformação devido às amplitudes de temperatura.

Resultante das características do processo construtivo, por vezes, a utilização deste sistema implica a necessidade da construção de elementos que suportam a estrutura de um objeto. Estes suportes são fixados ao modelo, recorrendo a um segundo material ou através de densidades mais reduzidas, sendo posteriormente, retirados da estrutura do objeto.

As impressoras 3D de deposição de material fundido apresentam dois tipos de configuração que permitem obter resultados ligeiramente diferentes. No entanto, o processo de extrusão dos filamentos utiliza os mesmos componentes em ambas as soluções. A deslocação do extrusor é realizada de acordo com um referencial Cartesiano que deposita as camadas de acordo com as coordenadas espaciais da volumetria do modelo 3D.

Resumidamente, os diferentes elementos que compõem às impressoras 3D de FDM consistem nos seguintes:

- Estrutura da impressora, que permite a acoplagem dos outros elementos e sustenta o processo de impressão;
- Cabeça de extrusão, que consiste no elemento que deposita o material fundido para a configuração das diversas camadas;
- Base de impressão, sobre a qual são depositadas as camadas de material fundido;
- Bobina de filamentos termoplásticos, que permite a alimentação da cabeça de extrusão.

Além destes componentes principais, estes tipos de impressoras comportam outros dispositivos que permitem a sua operacionalidade. Deste modo, o processo de impressão implica a utilização de pequenos motores que servem para movimentar a cabeça de extrusão sobre um plano horizontal e sobre uma direção vertical.

Por outro lado, a cabeça de extrusão possui outro motor que serve para a o processo de alimentação de filamentos. Alguns modelos apresentam ainda ventoinhas para arrefecer a temperatura do material à saída do extrusor, assim como das camadas depositados sobre a base de impressão.

Como indicámos acima, as impressoras 3D de deposição de material fundido apresentam-se segundo duas tipologias:

- Impressoras Cartesianas;
- Impressoras Delta.

- Impressora Cartesianas

As impressoras cartesianas consistem no tipo de impressoras 3D com mais divulgação nas áreas comerciais e nas áreas das comunidades 3D. Contrariamente às outras tecnologias de prototipagem rápida aditiva, a operacionalidade das impressoras de FDM permite um funcionamento relativamente simples, abrindo a possibilidade de explorações técnicas recorrendo a componentes de baixo custo e de fácil acesso.

Deste modo, este sistema assume-se como uma alternativa extremamente eficaz para a experimentação de soluções no âmbito da impressão 3D (Hauseman & Horne, 2014; Evans, 2012). Atualmente podemos observar inúmeras comunidades de RepRap⁷⁰ que oferecem diversas soluções para a utilização pessoal deste sistema de manufatura aditiva.

Assim, com o acesso a este tipo de informação, torna-se possível construir uma impressora 3D de FDM, sem grandes custos e com relativa facilidade. Como consequência, este tipo de dispositivos encontra grande adesão nas áreas do ensino da arquitetura, do *design* de produtos e, naturalmente, na área da escultura.

As impressoras cartesianas permitem a construção física de modelos 3D através do deslocamento horizontal (plano xy) da cabeça de extrusão, de modo a configurar as camadas transversais sobre o tabuleiro de impressão. Após a deposição da primeira camada, o tabuleiro é rebaixado de maneira a permitir a impressão da camada seguinte.

Deste modo, a deslocação vertical (de direção z) deste processo é assumida pelo movimento descendente da base de impressão, ficando o extrusor sempre com a mesma cota.

⁷⁰ As Comunidades RepRap consistem no desenvolvimento, à escala mundial, de projetos para a construção e aplicação de impressoras 3D de FDM através de *Open-source*. Estas comunidades disponibilizam informações referentes à construção, projetos e componentes de impressoras, operacionalidade, resolução de problemas técnicos, programas de modelação 3D, modelos 3D e consumíveis para a prototipagem rápida.

- Impressoras Delta

As impressoras delta de FDM, ou Delbot, apresentam uma outra solução para a deslocação da cabeça de extrusão. Neste sistema, o tabuleiro de impressão encontra-se fixo durante todo o processo. Deste modo, a deslocação sobre os três eixos de direção (x; y; z) é assegurada por três braços que suportam o extrusor no seu ponto de interseção e, cada um destes braços encontra-se ligado a um suporte vertical.

Assim, através da deslocação das extremidades dos braços, sobre os suportes verticais, a cabeça de extrusão é posicionada sobre as coordenadas pretendidas para a deposição das camadas horizontais de material. Esta configuração estrutural é conhecida como pé de galo, e permite uma impressão mais rápida.

Por outro lado, este sistema permite trabalhar com volumes de maior cota para a impressão de objetos cujas dimensões assim o exijam. Relativamente às impressoras cartesianas, as impressoras delta implicam um processo mais complexo relativo à calibração do movimento do extrusor.

Independentemente da escolha da aplicabilidade destes dois tipos de impressora, os elementos de extrusão, e os diversos filamentos de material termoplástico utilizado, consistem no mesmo tipo de soluções.

Os materiais mais utilizados através deste tipo de impressão consistem em diversos termoplásticos que apresentam funcionalidades e comportamentos diferentes. A temperatura de fusão destes materiais difere ligeiramente, dando origem a distintas resistências estruturais do objeto. Como consequência, de acordo com a utilização que pretendemos atribuir ao objeto impresso, devemos ter em consideração uma escolha específica.

Os diferentes tipos de termoplásticos utilizados abrangem uma inúmera quantidade de alternativas. Muitas das soluções que poderíamos indicar consistem em

desenvolvimentos de materiais que já demonstraram a sua eficácia neste campo, resultando em subprodutos que são lançados, quase diariamente, nas redes comerciais. Deste modo, pretendemos apenas referir os mais comuns, tendo a consciência que permitem a obtenção de bons resultados.

- PLA

Os filamentos de PLA (*polylactic acid*) consistem num biopolímero derivado do ácido polilático, obtido através da planta do açúcar ou de folhas de milho. Este tipo de termoplástico apresenta boas tolerâncias às diferenças de temperaturas que se observam durante o processo de impressão. Deste modo, não requiere o aquecimento da base de construção e a aderência ao suporte pode ser feita através da aplicação de cola em *spray*.

O PLA derrete a temperaturas que rondam os 160° - 180° Celsius e, geralmente, as impressoras que usam este composto arrefecem a saída da cabeça de extrusão, recorrendo a uma ventoinha, de modo a impedir danos nas camadas previamente depositadas. Relativamente aos outros tipos de polímeros, o PLA apresenta características mais quebradiças e menos flexíveis na estrutura dos objetos impressos.

- ABS

O ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*) consiste num termoplástico composto, com grande aplicabilidade na indústria. No campo da impressão 3D, este tipo de material permite atribuir uma grande resistência aos objetos criados. O ABS derrete a temperaturas mais elevadas que o PLA e implica o aquecimento da base de construção da impressora, uma vez que se contrai à medida que arrefece.

Deste modo, a sua aplicação deve ser supervisionada de maneira a impedir deformações estruturais na impressão da superfície. No entanto, o processo de extrusão

é realizado com menor fricção, permitindo níveis de rigor superiores aos obtidos pelo PLA. O ABS é um composto tóxico e a sua utilização deve ser feita em espaços ventilados. Como curiosidade, as peças de Lego são construídas através deste termoplástico.

- Poliamidas

Recentemente, a introdução de filamentos termoplásticos poliamidas (i.e. *nylon*) permitiu a impressão 3D de objetos com propriedades elásticas através do sistema de deposição de material fundido. Os filamentos de *nylon* derretem a temperaturas elevadas, requerendo cerca de 250° Celcius para o processo de extrusão, permitindo uma excelente aderência entre as diferentes camadas impressas.

Este tipo de termoplásticos pode ser opaco, transparente e tingido com diversas tonalidades, permitindo a criação de superfícies que apresentam efeitos lumínicos. Ao contrário do ABS e do PLA, o *nylon* é resistente à acetona. Devido às resistências de ligação, entre as diversas camadas, os objetos impressos com este material têm grande capacidade de estanquidade.

- Elastómeros

Os elastómeros (TPE) consistem na combinação de polímeros termoplásticos com a borracha, proporcionando a realização de objetos com grandes características de maleabilidade e resistência. No entanto, o processo de impressão com este tipo de material tem que ser realizado lentamente, de modo a impedir deformações estruturais do objeto.

Estes filamentos são relativamente novos nos processos de impressão 3D, e disponibilizam novas alternativas na construção de moldes para a sua utilização na área da escultura digital.

Atualmente observamos o desenvolvimento de aplicações de diversos materiais de ensaio na impressão 3D que recorre a este sistema. Como curiosidade, a utilização de filamentos, compostos por matéria comestível (e.g. chocolate e pastas), é já uma realidade aplicada na fabricação de produtos de pastelaria.

Como alternativa, podemos encontrar impressoras de grande formato, que são utilizadas na área da construção civil, baseadas neste tipo de operacionalidade. Estas impressoras depositam uma pasta de cimento que possibilita a construção total da estrutura de um edifício. No campo da escultura, já existem algumas experiências aplicadas aos processos de construção de objetos de grandes dimensões através deste tipo de impressoras.

▪ *Slicing*

No decurso do desenvolvimento desta parte da nossa investigação, relativa aos aspetos tecnológicos aplicados ao projeto de uma escultura digital, analisámos os diversos procedimentos metodológicos que enformam as suas fases diversas. Assim, pudemos observar os processos de aquisição de dados de um objeto, os processos de tratamento e edição destes dados e, por fim, a sua aplicabilidade material, através dos processos de prototipagem rápida aditiva.

No entanto, resta-nos ainda indicar os procedimentos necessários para iniciar a impressão 3D de um modelo digital. Por enquanto ainda não é possível clicar sobre o ícone de impressão para darmos início a este processo. Inclusive, para imprimirmos um texto sobre uma folha de papel, necessitamos de eleger algumas opções (e.g. orientação da folha, impressão a cores ou preto e branco, frente e verso e, entre outros, a resolução

da impressão). As impressoras 3D implicam um procedimento semelhante para poderem materializar o objeto digital, de modo a obtermos os resultados que pretendemos.

Dependendo do tipo de impressão, podemos aferir valores às temperaturas do extrusor, definir o material a imprimir, escalonar e orientar o referente, inserir suportes de estrutura, definir a espessura da casca de superfície e, também, parametrizar a definição que se pretende obter. Como podemos depreender, a exploração deste conjunto de opções iria implicar uma extensa redação de informações que, nos dias de hoje, podemos facilmente encontrar em diferentes bases de dados *on-line*.

Porém, consideramos importante fazer referência aos aspetos mais significativos que envolvem o início do processo da impressão 3D de um objeto. Como observámos, após a modelação e edição de um objeto em 3D, torna-se necessário exportar um ficheiro que contenha as informações referentes à volumetria e aos mapas de texturas e materiais. Para este efeito, os formatos de exportação mais utilizados são o STL, o OBJ e o PLY.

Contrariamente às duas últimas alternativas, os ficheiros STL disponibilizam apenas a informação referente à geometria da malha poligonal. Os ficheiros OBJ e PLY assumem, também, a informação relativa ao cromatismo da superfície, às texturas e materiais e aos efeitos lumínicos atribuídos a cada polígono. Deste modo, para realizarmos uma impressão simples, sem termos a necessidade de obter efeitos cromáticos, os ficheiros STL servem perfeitamente para este fim.

Posteriormente a exportarmos o ficheiro, a sua informação tem que ser processada, de modo a podermos verificar se a volumetria do objeto tem as condições necessárias para ser impressa. Este processo é realizado através de um *software* que irá fatiar horizontalmente a peça que pretendemos imprimir, e tem a denominação de *Slicing*.

Assim, através do processo de *slicing*, iremos obter a representação das configurações de todas as camadas a serem impressas. Recorrendo ao varrimento da volumetria, podemos assim verificar se a sua superfície apresenta irregularidades e falhas estruturais que possam implicar uma impressão deficiente do objeto.

Os programas de fatiamento de volumetria permitem ainda verificar as características físicas da área de impressão e a geometria do modelo a imprimir, de modo a podermos controlar as dimensões necessárias para uma correta impressão. Além destes aspetos, temos ainda a possibilidade de saber, e controlar, o tempo empregue para a realização da impressão, assim como da quantidade de material que vai ser empregue. Como exemplo, podemos indicar os programas Cura e Slic3r, de distribuição livre, como os mais utilizados para este efeito.

Com a conclusão do processo de *slicing*, e as respetivas verificações e afinações do modelo, este *software* irá gerar um código de linguagem, específico para a transmissão de informação que será interpretada pela impressora. Este código, denominado de G-code, contém toda a informação necessária para a impressão das diversas camadas do objeto.

▪ G-code

O G-code é código de transmissão de linguagem entre um computador e uma máquina de controlo numérico. Este código foi criado em meados dos anos 50 empregue nos processos de CAM aplicados na indústria da época. Porém, a sobrevivência do G-code até aos nossos dias deve-se à sua extrema simplicidade e eficácia para o domínio dos diferentes processos de manufatura digital (Horvath, 2014).

Curiosamente, este código é empregue nas tecnologias de ponta das diversas impressoras 3D que temos vindo a referir. Devido à sua aplicação nas tecnologias de

CNC *milling*, o G-code foi assim adotado para o desenvolvimento das primeiras impressoras 3D, mantendo-se, até aos nossos dias como a linguagem de referência.

Esta linguagem é gerada de modo a atribuir informações distintas de comandos operativos que são interpretados um a um e de forma sequencial. As funções deste código permitem que a impressora recolha os dados necessários para a correta deslocação do elemento de impressão (e.g. extrusor, feixe de radiação, jato de tinta) pelas diferentes coordenadas cartesianas parametrizadas.

Os ficheiros de G-code podem ser arquivados, de modo podermos reutiliza-los noutras impressões. Permitem ainda, a edição do seu texto para alterações pontuais, decorrentes dos resultados obtidos em ensaios de experimentação.

Após observarmos as funcionalidades e diferentes aplicabilidades dos processos de impressão 3D, podemos, garantidamente, depreender que a sua utilização no campo da escultura assume grande relevância. Como referimos, o resultado decorrente da prototipagem rápida também se considera como um produto da escultura digital.

Embora consista numa solução física, os meios utilizados para a sua criação e conceção são, todos, de natureza digital. No entanto, nesta perspetiva, não seria correto encarmos o digital como *medium* de expressão, uma vez que os materiais empregues são do mundo concreto e palpável.

Deste modo, podemos agora debruçar a nossa atenção sobre as possíveis aplicabilidades das soluções de materialização de um modelo 3D no âmbito da escultura digital.

Como referimos no início deste capítulo, a aplicação material física de um objeto digital implica a sua manufatura aditiva. Para este efeito, observámos as várias soluções disponíveis pelos processos de impressão 3D, considerando as suas especificidades e as respetivas aplicações possíveis.

Assim, decorrente da investigação que realizamos através das diversas fontes que consultadas, como da nossa experiência profissional, optámos por dividir as aplicabilidades materiais em duas áreas de incidência da escultura digital: a materialização física de um modelo e a aplicação material na construção de moldes físicos.

▪ **Modelo Físico**

A materialização física de um objeto 3D, através da sua impressão, permite enunciar um grupo de aplicações que abrange as áreas de estudo, do acervo e arquivo, da sua distribuição e, por fim, a sua tradução como obra escultórica. Estas áreas podem ser relativas quer ao campo da profissão do escultor, quer ao âmbito do ensino das diversas disciplinas de escultura.

▪ **Estudo**

Como pudemos constatar, os meios digitais consubstanciam-se como uma forma de estudo para o campo da escultura. Permitem o ensaio de inúmeras soluções morfológicas, materiais e, por exemplo, de simulações de implantação.

A materialização de um modelo digital possibilita, assim, o estudo das suas características volumétricas, das suas proporções e da expressividade plástica subjacente à sua forma. Deste modo, o escultor tem a possibilidade de ensaiar diferentes alternativas até apurar o resultado que pretende. Posteriormente este modelo poderá servir de referente para a conceção de uma escultura através dos processos tradicionais analógicos, uma vez que os estudos digitais realizados podem servir esta finalidade.

Esta realidade é, curiosamente, uma prática corrente desenvolvida por muitos artistas que usam os meios digitais como forma de estudo para o desenvolvimento de um projeto que será formalizado com o recurso ao trabalho manual.

O estudo das esculturas de grupo é outro exemplo deste tipo de aplicabilidade, ao permitir os ensaios das diversas posições alternativas que os seus elementos podem vir a ocupar. Sem querermos preterir os métodos tradicionais da prática escultórica, pelos quais temos grande apreço, temos constatado que a introdução gradual dos meios digitais, no campo do estudo do projeto escultórico, tem encontrado uma adesão acima do expetável.

No âmbito do ensino da escultura, a impressão 3D de um modelo tem também grande relevância, uma vez que permite a sua aplicação em diversos domínios. Assim, um modelo impresso pode ser usado na lecionação das disciplinas de representação de figura humana. Além do modelo vivo, o decurso destas aulas permitem o estudo formal de obras clássicas. No entanto, raramente o acervo escultórico das instituições de ensino contém a totalidade das obras que se pretendem estudar.

Através dos processos de digitalização, torna-se possível o intercâmbio de modelos 3D destes exemplares, que posteriormente serão impressos de modo a obtermos uma cópia para a utilização do estudo da figura humana.

Por outro lado, a impressão 3D permite aos alunos empreenderem o mesmo tipo de soluções que referimos no caso profissional do escultor. Atualmente, não podemos encarar os meios digitais como uma moda passageira. Devemos sim, procurar disponibiliza-los, dentro do possível, na prática do ensino da escultura, uma vez que se assumem como novas formas de saídas profissionais e como meios tecnológicos que apresentam grandes vantagens.

- Acervo

O acervo escultórico consiste no património pessoal ou institucional que se adquire ao longo dos tempos. Até aos nossos dias, muitas das obras realizadas por artistas e alunos eram conservados em registo fotográfico. Assim, o acesso a estas esculturas era feito de acordo com fotografias que, como se torna óbvio, não permitiam a apreensão total dos diferentes aspetos do referente.

Atualmente, a impressão 3D permite alterar esta realidade, uma vez que os acervos de escultura podem conter registos físicos impressos, obtidos de um modelo previamente digitalizado. Inclusive, esta metodologia é aplicada no campo da preservação e restauro de escultura, possibilitando a impressão 3D de cópias de originais frágeis ou de acesso impossível. Como exemplo, a prototipagem rápida pode ser utilizada para obtermos cópias de obras de referência que se encontram em museus ou em coleções privadas.

Estes registos podem também ser aplicados na área do ensino e da aprendizagem da escultura. Assim, quer o aluno, quer o professor, podem registar os trabalhos realizados no decurso das diferentes disciplinas. Como pudemos observar, os processos de fotogrametria permitem a recolha de dados digitais com grande facilidade e rapidez. De uma forma geral, os exercícios realizados durante o curso de escultura acabam por se perder ou, se forem realizados em barro, são reutilizados para futuras gerações.

Muitos destes ensaios podem ter uma relevância importante, uma vez que podem constituir-se como exemplos significativos das exigências do programa ou, terem apenas um valor emocional. Pessoalmente, ainda hoje nos lamentamos por não termos registado fotograficamente alguns exercícios que realizámos durante o nosso curso, perdendo irremediavelmente memórias físicas deste período. Aliás, esta nostalgia observa-se correntemente nos nossos alunos, no final do curso, embora, fique o leitor descansado, pois não iremos explorar os meios digitais como forma de psicoterapia da sociedade digital.

- Distribuição

Relativamente aos aspetos relativos à distribuição de modelos impressos em 3D, podemos indicar algumas alternativas que atualmente se podem observar a nível comercial e institucional. A impressão 3D representa um nicho considerável do mercado atual. Na área do *design* de produtos, já se torna possível descarregar ficheiros para a manufatura pessoal de diversos objetos. Por outro lado, presentemente muitos artistas e *designers* comercializam os seus trabalhos realizados através da impressão 3D.

Ao nível da escultura, a sua distribuição institucional implica a comercialização, ou troca, de cópias de obras de acervos e de coleções para diferentes finalidades. A indústria cinematográfica é um exemplo deste tipo de aplicabilidade, uma vez que adquire a museus, peças impressas de cópias de esculturas, para efeitos de cenografia.

Como referimos acima, as trocas de exemplares dos acervos escultóricos de diversas instituições podem servir para o enriquecimento do seu património. Como curiosidade, em Espanha existe um protocolo que permite a troca de obras impressas em 3D entre diferentes Faculdades de Belas-Artes.

O acervo escultórico da Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa detem um número significativo de exemplares de destaque para a área dos estudos de escultura. As obras em gesso, consistindo em retratos, bustos, diversos tipos de estatuária, altos e baixos-relevos, entre outros, constituem um importante legado da história mundial e nacional da escultura.

Através dos meios digitais, nomeadamente da impressão 3D, torna-se possível a divulgação e distribuição destes exemplares. Por um lado, esta iniciativa permitiria empreender uma troca entre instituições nacionais e estrangeiras, de modo a enriquecer os seus patrimónios. Por outro, este processo poderia acrescentar recursos financeiros a esta instituição. Num cenário em que, cada vez mais, as universidades necessitam de se

autofinanciar, consideramos que este tipo de atitude revela-se como uma alternativa a ter em consideração. Como é comum dizer-se: o futuro o dirá.

- Escultura Física

Por fim, no campo das alternativas das diferentes aplicações materiais de um modelo, temos necessariamente de referir o universo das artes plásticas. Como observámos, a introdução da impressão 3D no domínio da escultura consiste numa realidade importante que introduz novos paradigmas nos seus diversos discursos. A construção de obras escultóricas através destes processos tem revelado grande adesão por parte da comunidade artística a nível mundial.

Deste modo, esta forma de expressão artística permite aliar os aspetos tecnológicos digitais à materialização física de um objeto artístico projetado e realizado de acordo com novas metodologias e práticas do fazer escultórico. Esta tradição é, ainda, relativamente recente, embora, gradualmente se assuma como paradigmática no universo das artes digitais.

Temos observado a sua utilização por artistas que conjugam os dois processos (i.e. analógico e digital), explorando inúmeras alternativas que se destacam no panorama atual da escultura. Por um lado, não deixamos de considerar estes aspetos tecnológicos como uma moda, mas, por outro lado eles são uma realidade perene que não devemos deixar de ter em atenção.

No campo do ensino da escultura, estas tecnologias já consistem num laboratório experimental que permite conjugar os processos de ensino tradicional com os meios digitais, revelando soluções de interesse e uma adesão particular, por parte dos nossos alunos, decorrente da familiaridade com estes meios.

▪ Moldes

Como pudemos observar, os processos de impressão 3D apresentam alternativas excelentes para a obtenção de moldes das mais diversas morfologias que podemos encontrar.

Por um lado, devido aos diversos materiais disponíveis, a realização destes moldes pode ser obtida com diferentes particularidades. Assim, torna-se possível a construção destes elementos em matérias rígidas e flexíveis, facultando a sua utilização para diferentes finalidades.

A construção de um molde tem como objetivo a reprodução de volumetrias através da injeção de materiais líquidos ou pastosos. A posterior solidificação do material implica uma configuração que impeça a sua prisão ao ser extraída do molde. Deste modo, para a obtenção de formas complexas, os moldes devem ser realizados em materiais que apresentem características de flexibilidade, de modo a facilitarem a extração do objeto.

Na área da escultura, os processos tradicionais aplicados para este procedimento requerem a construção de uma estrutura rígida (i.e. a madre), geralmente feita em gesso, que servirá de cama para o material que líquido, ou pastoso, que irá cobrir o objeto que se pretende reproduzir. Este material consiste em silicone ou latex, devido à sua flexibilidade.

Como observámos, a prototipagem rápida permite a realização de moldes em materiais que conjugam estas duas particularidades estruturais, recorrendo, por exemplo, a elastómeros.

Por outro lado, a impressão 3D possibilita a construção de moldes com grande rigor de superfície. Resultando da digitalização, ou da modelação 3D de um objeto, o molde obtido apresenta níveis de rigor que, por vezes, se torna impossível com os

processos tradicionais. Como pudemos explicar, a obtenção de um molde digital pode ser feito através das operações booleanas de superfície, permitindo o resultado negativo da forma modelada em 3D. Posteriormente, o ficheiro da forma negativa é impresso, resultando no molde que se pretende.

Paralelamente aos aspetos descritos para as diversas aplicabilidades de um modelo materializado, os moldes impressos podem ser utilizados nos âmbitos da profissão e prática do escultor, assim como nos processos de ensino e de aprendizagem. Deste modo, as áreas que podemos referir relacionam-se com o estudo, com o acervo e com a distribuição.

- Estudo

Relativamente à aplicabilidade de moldes impressos, na área da escultura, não podemos acrescentar muito ao que foi referido anteriormente. No entanto, convém salientar que nas áreas da indústria, a aplicabilidade dos moldes impressos permite o ensaio de resultados que antecedem a realização dos moldes definitivos através de outras tecnologias.

Na escultura, estes estudos permitem dar resposta aos diversos problemas que podemos encontrar na extração de formas complexas, tendo assim a oportunidade de redesenhar a configuração do molde, de modo a obtermos outro de maior eficácia para o efeito.

- Acervo

Em nosso entender, as áreas dos acervos escultóricos são as que apresentam mais relevância e oportunidades para a aplicação de moldes impressos. Como se pode

observar, não incluímos, nestes aspetos, a possibilidade de um molde se constituir como obra escultórica. No entanto, esta possibilidade não está posta de parte. Tudo depende da vontade do escultor, uma vez que pode optar por apresentar o negativo de um objeto como a própria obra escultórica. Este aspeto levar-nos-ia para outros âmbitos que não pretendemos explorar neste estudo.

Porém, como indicámos, a realização de moldes impressos apresenta-se como uma mais-valia para a área do acervo, uma vez que permite o registo de esculturas sobre este tipo de solução. Naturalmente que podemos contestar esta opinião, tendo em vista as possibilidades de materialização da forma positiva através dos mesmos métodos de impressão. No entanto, além de apresentarem uma maior resistência, os moldes impressos permitem a aplicação dos métodos tradicionais para a obtenção de um objeto escultórico em diferentes tipos de materiais.

As matérias utilizadas na impressão 3D, já possibilitam a realização de moldes para a indústria da fundição, uma vez que têm grande resistência para este efeito. Por outro lado, tendo em vista os problemas de acondicionamento e do espaço necessário para acolher as obras de um acervo, os moldes constituem-se como uma alternativa extremamente viável para estes aspetos.

▪ Distribuição

Paralelamente ao que indicámos sobre a distribuição de modelos impressos, os aspetos referentes aos moldes têm as mesmas particularidades. Interessa relembrar que a comercialização de moldes de esculturas, realizados em gesso, consistiu na forma de divulgação e aquisição de muitos exemplares presentes em diversas instituições de ensino artístico.

Foi através da aquisição destes moldes que, nos dias de hoje, podemos admirar a coleção de reproduções que se encontram nos corredores da nossa Faculdade. Estes

modelos servem os estudos de desenho e de modelação de figura humana das várias gerações de alunos que passaram por esta instituição.

Com os meios digitais, consideramos que este tipo de empreendedorismo pode ser revitalizado, permitindo a troca de patrimónios que ajudam os estudos da escultura, uma vez que permitiria a obtenção de exemplares importantes de outras épocas e culturas.

A distribuição de produtos digitais implica custos reduzidos. Como iremos observar, as aplicabilidades da distribuição de são incontáveis. Sem termos a preocupação dos custos elevados de transporte, uma vez que os produtos podem ser distribuídos por correio eletrónico, as vantagens culturais, decorrentes deste tipo de trocas, revelam-se de extrema importância na nossa sociedade.

6.3.

Aplicação Digital

A aplicação digital de uma escultura, criada através dos processos de modelação 3D, implica a observação de aspetos que, de certo modo, contrastam com as diferentes soluções que acabámos de referir. Por um lado, a aplicação digital destina-se à fruição em ambientes virtuais. Como poderemos observar, estes ambientes caracterizam-se por serem não imersivos, semi-imersivos ou de imersão total.

Por outro lado, independentemente destes aspetos, este tipo de aplicação assume o digital como *medium* de expressão. Deste modo, a matéria de expressão artística utilizada para o discurso escultórico – o *medium* – consiste num material virtual, sem características táteis. Como observámos, esta particularidade e problemática não são novidade no campo da escultura e esperamos que tenha ficado resolvida. No entanto, a realidade da escultura digital permitiu reacender a imaterialidade escultórica como discurso plástico contemporâneo.

De modo a podermos clarificar os diversos campos de ação da aplicabilidade digital de um objeto virtual, apresentamos, sucintamente, as seguintes alternativas:

- **Aplicação Digital**
 - Modelo 3D
 - Estudo
 - Acervo
 - Distribuição
 - Aplicação Multimédia
 - Escultura Virtual
 - Realidade Virtual
 - Realidade Aumentada
 - Moldes 3D
 - Estudo
 - Acervo
 - Distribuição

Assim, antes de passarmos à explicação das diversas soluções de aplicabilidade digital, devemos ter em atenção os aspetos fundamentais que se referem aos processos das realidades híbridas.

▪ Realidades Híbridas

As realidades híbridas consistem nas possíveis alternativas, criadas para gerarem realidades simuladas através de ambientes concebidos em 3D. Este tipo de ambientes virtuais permite a interação entre o sujeito e os diversos elementos virtuais que enformam o espaço de ação.

Milgram *et al.* (1995) apresentam o «*Continuum* de Realidade-Virtualidade», como a enunciação dos diferentes estágios possíveis das realidades híbridas.

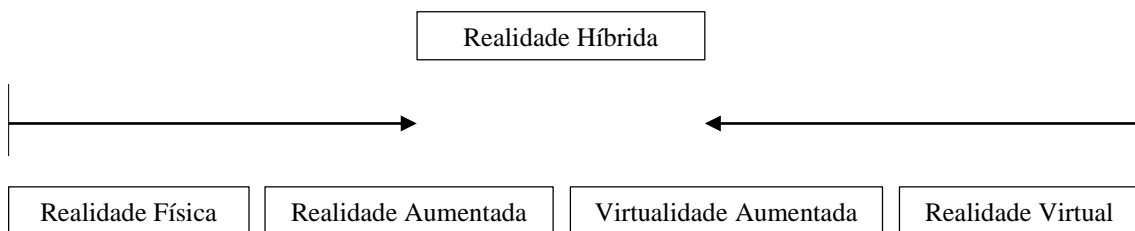


Fig. 6.1.
Continuum da Realidade Híbrida

Deste modo, podemos depreender que o estágio da realidade física pertence ao campo da realidade material – concreta e palpável, – enquanto os restantes implicam a presença de um *medium* digital, uma vez que são gerados, e fruídos, através de dispositivos tecnológicos digitais (Harrison, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2008).

Como observámos, os objetos e os ambientes criados, para este tipo de aplicações, são gerados através dos programas de modelação 3D e, posteriormente renderizados de modo a criarem as ilusões necessárias para estes efeitos.

Tomando como referência o esquema do *Continuum* de Realidade-Virtualidade, procuraremos observar as diferentes particularidades que compõem os seus diversos estágios.

- Realidade Aumentada

O conceito de realidade aumentada consiste na sobreposição de duas realidades distintas e em simultâneo. Deste modo, esta variante de realidade híbrida permite a fusão de imagens da realidade concreta com imagens virtuais. Os dispositivos tecnológicos digitais, aplicados para este efeito, apresentam ambientes reais onde coexistem elementos virtuais gerados em 3D.

Assim, assistimos à ampliação do mundo real, através da introdução de imagens sintéticas, complementando os efeitos de simulação. Este tipo de realidade não é exclusivamente visual, permitindo a introdução de outros tipos de informação (e.g. táteis e/ou auditivas) de modo a criarem um efeito de ilusão mais credível. (Barfield, 1995).

De acordo com Robert Azuma, a definição de realidade aumentada consiste nos seguintes aspetos:

«A Realidade Aumentada (RA) é uma variante dos Ambientes Virtuais (AV) ou, como é vulgarmente conhecida, Realidade Virtual. As tecnologias AV imergem, por completo, o utilizador num ambiente sintético. Nessa condição, o utilizador não consegue ter a percepção do mundo à sua volta. Por contraste, a RA permite-o, com objectos virtuais sobrepostos ou compostos com o mundo

real. Assim, a RA complementa a realidade, mais do que substitui-la. Idealmente, deveria parecer que, tanto os objectos virtuais como os reais, coexistiam no mesmo espaço».⁷¹
(tradução nossa).

Este autor refere ainda as características operativas que podemos observar através da utilização dos dispositivos de realidade aumentada:

- Mistura dos elementos reais e elementos digitais;
- Interatividade em tempo real;
- Registo em 3D.

Atualmente existe uma grande variedade de dispositivos tecnológicos para a utilização deste tipo de realidade híbrida. As primeiras soluções aplicadas, consistiam em capacetes com dispositivos óticos transparentes, sobre os quais eram projetadas as imagens virtuais criadas em 3D. Estes capacetes, denominados de *Head-mounted displays*, começaram por serem desenvolvidos para as tecnologias referentes à realidade virtual.

No entanto, a realidade aumentada tornou-se numa alternativa que implicava menos exigências de processamento e de renderização de imagens, uma vez que estes

⁷¹ «Augmented Reality (AR) is a variation of Virtual Environments (VE), or Virtual Reality as it is more commonly called. VE technologies completely immerse a user inside a synthetic environment. While immersed, the user cannot see the real world around him. In contrast, AR allows the user to see the real world, with virtual objects superimposed upon or composited with the real world. Therefore, AR supplements reality, rather than completely replacing it. Ideally, it would appear to the user that the virtual and real objects coexisted in the same space».

(Azuma, 1997: 356).

processos eram aplicados, apenas, aos objetos virtuais observados sobre um ambiente real.

No entanto, esta tecnologia evolui exponencialmente, apresentando, atualmente, novas propostas que alargam os horizontes da sua aplicabilidade no campo das artes digitais. A portabilidade destes tipos de dispositivos permite a sua utilização em qualquer tipo de lugar. Assim, a realidade aumentada pode ser observada como uma solução de aplicabilidade generalizada nos mais diversificados ambientes e situações do quotidiano, uma vez que não necessita de tecnologias complexas e de difícil portabilidade.

Como referimos, esta tecnologia sobrepõe as imagens de duas realidades sobre um ecrã. Este processo pode ser realizado de duas formas: por um lado, a imagem do ambiente real é captada através da câmara de um dispositivo e, sobre o seu ecrã são sobrepostas as imagens virtuais em tempo real. Por outro lado, os elementos virtuais são projetados sobre as lentes transparentes de óculos específicos para este fim. Este último exemplo é, atualmente, considerado o *state of the art* da realidade aumentada, uma vez que recorre apenas às projeções dos elementos virtuais. O ambiente real, neste caso, é observado através das lentes, não havendo a necessidade da sua projeção.

Deste modo, recorrendo a um par de óculos – semelhantes aos tradicionais, – a um *tablet* ou um *smartphone*, torna-se possível a utilização desta tecnologia em qualquer tipo de espaço (i.e. aberto ou fechado), de modo a recebermos as informações geradas para o efeito. Deste modo, orientando o dispositivo móvel numa direção específica, acedemos a diversas informações geradas para aquele espaço (e.g. informações de texto, gráficos explicativos e volumetrias 3D).

Porém, esta tecnologia requer uma ligação à internet, de modo a recolher as informações dos dados gerados para aquela localização específica. Por outro lado, o sistema de projeção das imagens tem de ser georreferenciado para garantir, em tempo real, a correta sobreposição das duas realidades, assim como dos sucessivos alinhamentos estruturais que se alteram de acordo com a mobilidade do observador.

Como exemplo, na área da escultura digital, este tipo de tecnologia permite a sobreposição da imagem de uma volumetria 3D com a imagem do espaço físico envolvente (e.g. sala de um museu, de uma galeria ou espaço público). Um dos exemplos paradigmáticos deste tipo de aplicabilidade, na escultura digital, pode ser observado na obra “*The Golden Calf*,” do escultor Jeffrey Shaw. Este trabalho consiste numa instalação, em que a sala de exposição contém apenas um plinto e um *tablet*. Assim, a imagem virtual da escultura digital é projetada sobre a imagem real do plinto, captada pela câmara do dispositivo.

- Virtualidade Aumentada

A tecnologia da virtualidade aumentada é aplicada, essencialmente, nas áreas da indústria cinematográfica e televisiva. Embora não encontre grande relevância, no âmbito dos aspetos que temos vindo a desenvolver, relativos à escultura digital, este tipo de realidade híbrida apresenta algumas alternativas de aplicabilidade profissional para um escultor digital.

A virtualidade aumentada consiste na sobreposição de imagens de elementos reais (e.g. pessoas, animais objetos) sobre cenários virtuais (Harrison, 2013). Como referimos acima, esta tecnologia é aplicada na realização de efeitos especiais na indústria cinematográfica, detendo uma vasta tradição na história recente do cinema. Inclusivamente, podemos referir que a indústria cinematográfica foi responsável pelo grande número de desenvolvimentos tecnológicos no campo da modelação 3D, consistindo, a nível global, numa importante alternativa profissional para a área da escultura.

Deste modo, neste tipo de realidade híbrida, a aplicação de formas virtuais refere-se aos diversos elementos que podem compor um ambiente digital. Assim, é exigido ao escultor, o domínio da modelação e da construção das mais variadas formas de áreas, tão distintas, como a arquitetura, o urbanismo, a topologia de terrenos,

elementos naturais e figuras diversas. É recorrente, para o espectador mais atento, observar a presença de obras escultóricas digitais neste tipo de ambientes virtuais, como por exemplo, nos cenários de filmes que recriam espaços urbanos e monumentos que há muito desapareceram.

Como curiosidade, a tecnologia da virtualidade aumentada é, igualmente, aplicada na construção de cenários para programas televisivos de informação, ou de entretenimento, em que os apresentadores “pairam” sobre estes ambientes gerados em 3D.

- Realidade Virtual

No âmbito da temática da escultura digital contemporânea, e em nosso entender, a realidade virtual e a realidade aumentada consistem nas duas grandes áreas de referência para a aplicabilidade da escultura. Como observámos, é através destas duas soluções tecnológicas, relativas à realidade híbrida, que podemos assumir a presença de uma obra escultórica virtual.

Inclusive, estas duas alternativas conjugam sistemas de operacionalidade muito semelhantes entre si, embora a tecnologia referente à realidade virtual implique uma capacidade de processamento de renderização de imagens muito superior à da realidade aumentada (Oliveira, 2015).

Além dos aspetos que referimos na análise dos elementos de modelação 3D e dos processos de renderização, é importante termos em atenção outro tipo de características específicas da tecnologia da realidade virtual. Como podemos imaginar, o campo de aplicabilidade deste tipo de sistema é extremamente vasto, compreendendo a indústria militar, a espacial, a aeronáutica, o ensino e, também, as artes digitais.

Como já referimos, a realidade virtual consiste na criação de um estado – físico e psíquico – que conduz o espetador a aceitar uma ilusão de um ambiente virtual, simulado através das diversas tecnologias 3D. Resumidamente, a realidade virtual tem, como objetivo, simular a realidade. (Harrison, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2008).

De acordo com estes autores, a ilusão produzida implica a criação de dois aspetos determinantes de modo a ter mais, ou menos, aceitação por parte do espetador: a imersão e a presença.

- Imersão

As características dos diferentes graus de imersividade resultam da disponibilização tecnológica que permite três tipos de estado: estado não imersivo, estado semi-imersivo e estado de imersão total. Assim, estes diferentes patamares de imersividade derivam da utilização de um número específico de dispositivos que permitem simular sensações físicas interativas ao nível da visão, da audição, do tato e do olfato em tempo real.

O estado não imersivo de realidade virtual requer apenas a utilização de um ecrã, de um dispositivo de interação (e.g. rato) e de colunas de som. Como podemos depreender, esta forma de imersividade é a mais comum, uma vez que estes elementos são de uso corrente em qualquer tipo de aplicação 3D. Como reparámos, a “simples” tarefa de modelar um objeto através de um *software* de 3D CAD, consiste no emprego da realidade virtual, pois encontramos as características de interação e imersividade necessárias para o efeito.

O estado de semi-imersão de realidade virtual implica a presença do espetador num espaço concebido para este efeito. Nas diversas áreas das artes (e.g. cinema, música, teatro e artes plásticas) esta tecnologia permite a simulação de ambientes, criados especificamente para gerarem ilusões que acrescentam outras sensações ao

espetador. De um modo geral, as ilusões geradas neste estado de imersão recorrem a grandes ecrãs de envolvimento panorâmico ou a estruturas, em que o observador se encontra fechado, sobre as quais se projetam os ambientes virtuais. Como exemplos destes tipos de dispositivos, podemos indicar a tecnologia IMAX para cinema, o cinema em 3D – requerendo o uso de óculos específicos – e os sistemas CAVE. Este último exemplo apresenta a particularidade da espectador poder interagir com o ambiente virtual, ao nível da visão, audição e posição espacial.

Por fim, a solução mais complexa de imersividade, referente à realidade virtual, corresponde ao estado de imersão total. Este patamar de imersividade tem, como objetivo, a simulação de um estado de ilusão total que obriga o maior número de sensações físicas.

Como referimos, além do sentido da visão, consistindo no mais relevante para os diferentes estágios de imersão, a imersividade total pode operar tecnologicamente ao nível dos sentidos da audição, do tato e do olfato. Inclusive, já se desenvolveram experiências em que se estimula o sentido do paladar, porém, como podemos imaginar, a disponibilidade e operacionalidade deste aparato tecnológico é concebido apenas para casos pontuais.

Atualmente, a tecnologia mais divulgada para este nível de imersividade consiste nos óculos 3D, permitindo a projeção de imagens estereoscópicas em 3D, sobre dois pequenos ecrãs, que conferem um elevado grau de imersividade ao nível da visão e da audição.

Além destes dispositivos, o espectador pode ainda utilizar outros acessórios que gerem outro tipo de sensações físicas e permitem a interatividade com o ambiente virtual. Como exemplo, além dos clássicos teclados e ratos, o utilizador pode empregar um *gamepad*, luvas de resposta háptica, tapetes rolantes e fatos. Estes últimos reproduzem os movimentos e posturas do utilizador, segundo uma projeção denominada de *3rd view*. Esta vista coloca o ponto de observação imediatamente atrás, e

ligeiramente acima, da cabeça da personagem, sendo essencialmente aplicada em ambientes de jogos de consolas.

As soluções comerciais mais populares dos óculos 3D são os *Oculus Rift*, da Facebook e os *Project Morpheus*, da Sony. Em alternativa, os *Cardboard*, da Google e os *Gear VR*, da Samsung, permitem acoplar à estrutura dos óculos, um *smartphone*, de modo a podermos observar os ambientes virtuais no seu ecrã.

- Presença

De acordo com Gutiérrez *et al.* (*Op. Cit.*) os aspetos relativos à presença decorrem de fatores subjetivos que implicam as sensações geradas ao nível psíquico do utilizador. Deste modo, o grau de imersividade gera a consciência de uma ilusão que tem consequências nos diversos comportamentos e sentimentos do espetador.

Além de indisposições físicas, conhecidas como *Cybersickness*, a imersão num ambiente virtual pode gerar diversos sentimentos (e.g. euforia, medo e pânico) que se traduzem em respostas distintas de interatividade com o espaço virtual e com os respetivos objetos que o compõem. Assim, esta consciência de presença é despoletada através da integração das imagens 3D, dos efeitos de som e de outros aspetos que permitem uma interatividade particular.

Em nosso entender, este tipo de particularidades encontra grande relevância no âmbito da escultura digital. Como observámos, um dos aspetos referentes a este tipo de manifestação artística encontra-se relacionado com os valores da estética da interatividade. Um objeto escultórico virtual implica, além de outras atitudes, a interatividade entre o sujeito e a obra. Neste sentido, não queremos apenas referir os aspetos “clássicos” decorrentes da fruição artística. Uma escultura virtual deve promover, indiscutivelmente, a interatividade física, a interatividade de manipular e alterar o seu estado, caso contrário, não existiria grande razão para ser concebida através dos meios digitais.

São, precisamente estes meios que imprimem novos paradigmas na relação entre a obra e o espetador, uma vez que permitem um diálogo que se desenrola ao nível físico e psíquico, criando novas soluções de interação na escultura, que estão presentes noutras formas de arte.

▪ Sistema de Estrutura de Realidades Híbridas

Paralelamente aos processos tecnológicos de criação e de modelação de uma escultura virtual, pudemos observar os diversos dispositivos que permitem exponenciar a experiência ilusória de um ambiente simulado através dos sistemas de realidade virtual ou aumentada. Estes dispositivos têm, como objetivo, fornecer ao observador, em tempo real, as informações que conduzem à apreensão de sensações visuais, auditivas, táteis, olfativas e de presença espacial (Mongeon, 2015; Harrison, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2008).

No entanto, e assumindo a realidade virtual como um *medium* alternativo, a aplicação do objeto 3D (e.g. a escultura virtual) implica a criação dos aspetos relativos à interatividade entre o sujeito e a obra escultórica. Assim, é através deste processo que a obra assume o seu discurso plástico, conformando os seus aspetos formais, materiais, lumínicos e comportamentais. Só assim é que o espetador poderá fruir plenamente uma escultura virtual, uma vez que, a presença desta, encontra, impreterivelmente, um ambiente virtual como destino final.

Deste modo, pudemos propor ao leitor que realize um pequeno exercício que lhe permita imaginar as diversas formas que conduzam à observação de um objeto escultórico virtual. A solução mais simples consiste na observação deste objeto através de um ecrã clássico, ou tátil, de um teclado, das mãos e de um rato. Como observámos, este procedimento é o mais usual para podermos observar um objeto 3D em ambientes de *net.art*. A arquitetura do sistema está concebida de forma implícita, na utilização dos

interfaces gráficos, de tal modo que o espetador possa manipular o objeto virtual de maneira natural.

No entanto, e em alternativa, ao ampliarmos os graus de imersividade do ambiente, é necessário procedermos à parametrização de inúmeros atributos, e comportamentos, quer ao espaço sintetizado, como aos objetos que o compõem. Estes processos são realizados através da aplicação de sistemas de estrutura de realidade híbrida (Gutiérrez *et al.*, *Op. Cit.*; Whyte, 2008).

Assim, podemos referir que são estes *softwares* que permitem a construção da arquitetura do sistema virtual. Devido à sua complexidade operativa, estes programas requerem grande experiência para obtermos excelentes resultados, uma vez que admitem a parametrização de valores relativos a diversas áreas. Pessoalmente, podemos referir que as experiências desenvolvidas neste âmbito têm encontrado alguns obstáculos significativos, tendo como consequência o dispêndio considerável de tempo.

Porém, procuraremos descrever, sucintamente, as diversas funções que estas aplicações possibilitam. Os sistemas de estrutura consistem, essencialmente, na atribuição de comandos comportamentais aos diferentes elementos e espaços virtuais. Deste modo, o utilizador dispõe de um *interface* gráfico em que se encontra representado o espaço cénico. É neste espaço que os objetos são dispostos, de acordo com um referencial Cartesiano, de modo a ocuparem as posições especificadas.

Estes programas têm, ainda, uma biblioteca de dados de objetos e elementos 3D que podem ser inseridos no espaço cénico. Assim, se o utilizador o entender, poderá modelar apenas a volumetria do seu referente, sem ter a preocupação de construir os outros elementos.

Posteriormente à fase de disposição espacial dos objetos, vamos iniciar a introdução dos efeitos de interatividade que se atribuem ao espaço e aos distintos elementos.

De modo a criar os diferentes graus de imersividade, este processo permite, assim, inserir os efeitos relativos aos comportamentos lumínicos do ambiente, das direções da origem dos sons e, por exemplo, da deslocação dos objetos pelo espaço. Assim, os sistemas de estrutura vão gerar a informação necessária para a criação da interatividade entre o espetador e o ambiente, em tempo real. Esta informação é traduzida sobre a forma de imagens 3D renderizadas, que vão alterando a sua estrutura de acordo com a deslocação do espetador.

Dando continuidade ao exercício que propusemos acima, e como exemplo de imersividade total, podemos imaginar um espetador, posicionado dentro de uma estrutura de realidade virtual, onde pode observar as mais variadas configurações espaciais, efeitos atmosféricos (e.g. vento e chuva), efeitos sonoros e lumínicos. Como referimos, estes efeitos são gerados em tempo real, de acordo com a deslocação do espetador, permitindo a criação de um estado ilusório através da simulação do ambiente virtual.

Por fim, e antes de nos ocuparmos de enunciar as diferentes soluções de aplicabilidade digital, de um objeto escultórico concebido em 3D, não podemos deixar de fazer referência aos recursos disponibilizados por estes meios digitais. Correndo o risco de, mais uma vez, sermos redundantes, acreditamos nas potencialidades incomensuráveis que as realidades híbridas apresentam ao panorama da escultura digital contemporânea.

Assumindo-se como um meio tecnológico, ou como um *medium* de expressão artística, a realidade aumentada e a realidade virtual consubstanciam, em nosso entender, características de relevo para o campo profissional e para o ensino da escultura.

Paralelamente aos aspetos observados, decorrentes da aplicabilidade material de um objeto escultórico 3D, pretendemos apresentar as diversas soluções que encontram mais pertinência no âmbito da aplicação digital deste tipo de produto virtual. Como

depreendemos, tendo em consideração as características de uma escultura virtual, o universo das realidades híbridas consiste no campo paradigmático da sua utilização.

No entanto, podemos indicar outro tipo de alternativas que se revelam de grande utilidade no campo profissional e no campo do ensino da escultura. Para este efeito, optámos, mais uma vez, por distinguir duas soluções específicas para esta finalidade: encarar o objeto virtual como um modelo ou, em opção, utilizar este objeto para a conceção de moldes digitais. Em ambos os casos, as suas aplicabilidades têm sempre as características inerentes aos meios digitais, quer ao nível de estudos de projeto, ao nível do acervo escultórico, quer aos aspetos referentes à sua distribuição.

Deste modo, entendemos observar em simultâneo as diversas soluções, que iremos indicar, relativas ao emprego de um modelo e de um molde digital.

- Estudo

No âmbito do projeto artístico, a fase de estudo de uma escultura implica a observação de diversos ensaios que se realizam ao nível da sua estrutura morfológica, da sua relação de escalas, dos materiais empregues e, por exemplo, aos efeitos lumínicos observados. Deste modo, o escultor vai explorando as diversas alternativas que conduzem ao discurso plástico pretendido ou, por vezes, revelado. Como pudemos notar, este processo pode ser feito através dos meios tradicionais analógicos ou, como uma alternativa relativamente recente, através dos meios digitais.

Concluída a fase preliminar do projeto, o escultor pode assim escolher o referente definitivo que servirá para a realização da sua escultura. Como é sabido, podemos empreender outras práticas criativas e tecnológicas, mas, no âmbito do nosso estudo, entendemos que a metodologia do projeto de escultura adequa-se mais aos aspetos que temos vindo a investigar. Com os meios digitais, o processo de estudo de

um objeto permite empreender inúmeras explorações com um único dispositivo. O ecrã de um computador, ou o ecrã de um *tablet*, são exemplo desta realidade.

Por outro lado, a fase do projeto digital pode resultar numa escultura concebida através dos processos analógicos. Um modelo 3D não tem, necessariamente, de ser impresso, podendo consistir-se como o referente formal para a construção manual da obra.

De um modo geral, as áreas dos estudos teóricos de escultura implicam a presença física do objeto escultórico, através do seu original ou de uma reprodução tridimensional. Infelizmente, na maioria dos casos, estas obras são observadas em registos fotográficos. Curiosamente, muitas das esculturas de referência são estudadas à distância e através de registos que não permitem uma apreensão clara dos seus elementos. Presencialmente, esta realidade também pode ser constatada, uma vez que não nos é possível observar a obra de todas as direções e posições relativas.

As realidades híbridas vêm colmatar estas limitações. Atualmente já podemos estudar e admirar esculturas através de visitas virtuais a museus. A Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa tem, no seu *site* da *internet*, um espaço dedicado ao museu virtual do espólio artístico que detém, porém a área reservada à escultura encontra-se vazia de conteúdos. Resta-nos esperar mais uns tempos, para podermos verificar se esta realidade se altera. Atendendo às particularidades da cultura digital, este museu pode servir como meio de divulgação e promoção desta instituição de ensino artístico.

Naturalmente que podemos afirmar que a observação de uma obra através de um ecrã não se aproxima, de todo, da experiência da presença física da obra. No entanto, contrastando com o registo fotográfico, as aplicações de realidade virtual simulam a presença material de um modo extraordinário. Inclusive, através destes meios, podemos tocar na superfície do objeto, experienciando os aspetos texturais do mesmo. Raramente podemos ter esta audácia perante uma escultura clássica exposta num grande museu.

- Acervo

As particularidades, referentes aos aspetos da aplicação de um objeto escultórico digital, são essencialmente as mesmas que referimos no âmbito da aplicabilidade material. Inclusive, estas duas áreas partilham estágios processuais idênticos. Para imprimirmos em 3D um modelo, ou um molde, necessitamos previamente do referente digital obtido por digitalização ou por modelação. Assim, a diferença mais significativa reside nos processos de arquivo e de distribuição.

O arquivo de informação de dados digitais permite uma economia de meios, de espaço e de tempo, de forma extremamente eficaz. Além dos procedimentos correntes para o acervo de obras escultóricas, não podemos deixar de observar as mais-valias disponibilizadas pelos meios digitais. Deste modo, os ficheiros 3D de esculturas consistem numa alternativa para o arquivo de registos de obras realizadas através dos processos analógicos ou dos processos digitais.

- Distribuição

A facilidade de distribuição da informação, através dos meios digitais, permitiu alterar paradoxalmente a realidade do comércio à escala mundial. Como exemplo paradigmático, podemos referir o volume de vendas *on-line* de livros digitais que, atualmente é superior ao volume de vendas de livros em papel. Na área da indústria do *design* de produtos, esta alternativa de distribuição tem tido uma aceitação crescente, uma vez que permite posteriormente a aplicação dos processos de prototipagem rápida a nível do comércio geral ou pessoal.

Na área da escultura, presentemente podemos observar a distribuição de obras através das redes digitais de informação. Como exemplo, entre os membros da

comunidade de escultores digitais, pertencentes ao International Sculpter Center⁷² e editor da revista de referência *Sculpture*, esta prática já é recorrente. Neste sentido, independentemente do seu tipo de construção, a obra é convertida num ficheiro de 3D, podendo ser distribuída e posteriormente impressa em 3D em qualquer ponto do planeta. Em alternativa, este processo pode ser igualmente empregue para os moldes digitais.

Naturalmente, que esta realidade levanta a problemática da autoria e da reprodutibilidade de uma obra digital. No entanto, não iremos ocupar-nos desta temática nesta investigação, uma vez que se assume como um conteúdo teórico de grande dimensão.

▪ Aplicação Multimédia

O universo do emprego de um objeto escultórico virtual encontra uma área de grande expansão nas diversas aplicações multimédia existentes. As aplicações multimédia consistem num meio de divulgação de cultura e informação que não encontra precedentes na história da nossa sociedade. Através delas, fruto do seu suporte digital, podemos difundir as mais variadas formas de manifestações artísticas, aliando diferentes meios de expressão e interação.

Assim, abrangendo as áreas do espetáculo, da música, do cinema, da animação, das artes plásticas e, por exemplo, do teatro, este tipo de suporte tornou-se no meio de divulgação paradigmático da sociedade digital. Além destes aspetos, as aplicações multimédia consistem num importante material para o estudo das diversas áreas do saber, ultrapassando, em muitos aspetos, a imprensa sobre papel. Nos nossos dias, felizmente que ainda encontramos gerações que convivem com estes dois tipos de meios, delas somo um exemplo. No entanto, as novas gerações não têm conhecimentos para aceder e produzir informações de modo analógico. Basta imaginar a tarefa hercúlea

⁷² Ver <http://www.sculpture.org>.

que um adolescente iria encontrar para tentar escrever umas escassas linhas através de uma máquina de datilografia.

Colocando de parte estes aspetos nostálgicos, a aplicação de objetos modelados em 3D, neste tipo de suporte encontra grande disseminação. Por um lado, estes modelos são concebidos, precisamente para ocuparem o universo digital, por outro lado consistem em elementos de grande valor cultural, uma vez que podem servir para a divulgação e estudo da escultura.

Independentemente da sua aplicação na *internet*, em DVD ou Blu-ray, os modelos virtuais de objetos escultóricos servem necessidades que só através dos meios digitais é que podem ser compensadas.

▪ Escultura Virtual

Por fim, como remate desta parte e deste capítulo da nossa investigação, restamos referir a aplicabilidade de um objeto escultórico no campo das artes. Como observámos na parte anterior do nosso estudo, a arte digital comporta diversas formas e discursos artísticos. A escultura digital assume-se, nos dias de hoje, como uma realidade manifesta no âmbito da escultura contemporânea.

Como pudemos observar, talvez de uma maneira exaustiva, as alternativas tecnológicas, os modos de pensar, construir e criar e as soluções materiais e digitais presentemente disponíveis para o escultor abrangem um leque de tal forma desmedido que, de certo modo, dificulta uma escolha mais racionalizada. Aliás, esta realidade é observada aquando da introdução de novos aspetos técnicos e materiais no campo das ciências e das artes.

De certo modo, existe uma euforia que implica uma maturação que irá desenvolver-se gradualmente. No entanto, não podemos deixar de referir a

importância das realidades híbridas no campo da escultura. Estas realidades, encaradas sob forma de *medium* ou como instrumento tecnológico, alimentam substancialmente o imaginário plástico das diferentes gerações dos escultores contemporâneos.

Não seria relevante enunciarmos aqui as distintas alternativas possíveis decorrentes da aplicabilidade de uma escultura virtual. Nem sequer nos compete ou aspiramos a tal, uma vez que iríamos descriminar uma lista infindável de interseções tecnológicas e intenções plásticas.

Ao longo deste texto procurámos indicar alguns exemplos significativos que se aplicam a este âmbito. Estamos cientes que ficaram por apontar muitos outros, uma vez que se torna impossível acompanhar o ritmo com que as novas soluções vão surgindo. Por um lado, devido ao desenvolvimento tecnológico que se observa quase diariamente, por outro lado, devido ao constante fluir das poéticas artísticas e intenções estéticas subjacentes ao universo digital. Resta ao leitor, mais uma vez, e se assim o entender, imaginar e experienciar estas formas de criar, e/ou de fruir, uma escultura.

Além destes aspetos, interessa ainda salientar a importância da utilização destes meios digitais na área do ensino da escultura. Como observámos, este tipo de meios permite ao professor, e ao aluno, a introdução de outras formas de ensinar, de aprender e de criar. O universo digital admite novas alternativas profissionais e oferece novas áreas de saber e estratégias para o ensino. Na parte seguinte iremos debruçar o nosso estudo sobre a análise destes aspetos.

Por fim, apresentamos um diagrama que procura resumir os diversos domínios da aplicabilidade de um objeto escultórico 3D, indicando os caminhos e respetivas ramificações materiais e virtuais, que explorámos anteriormente.

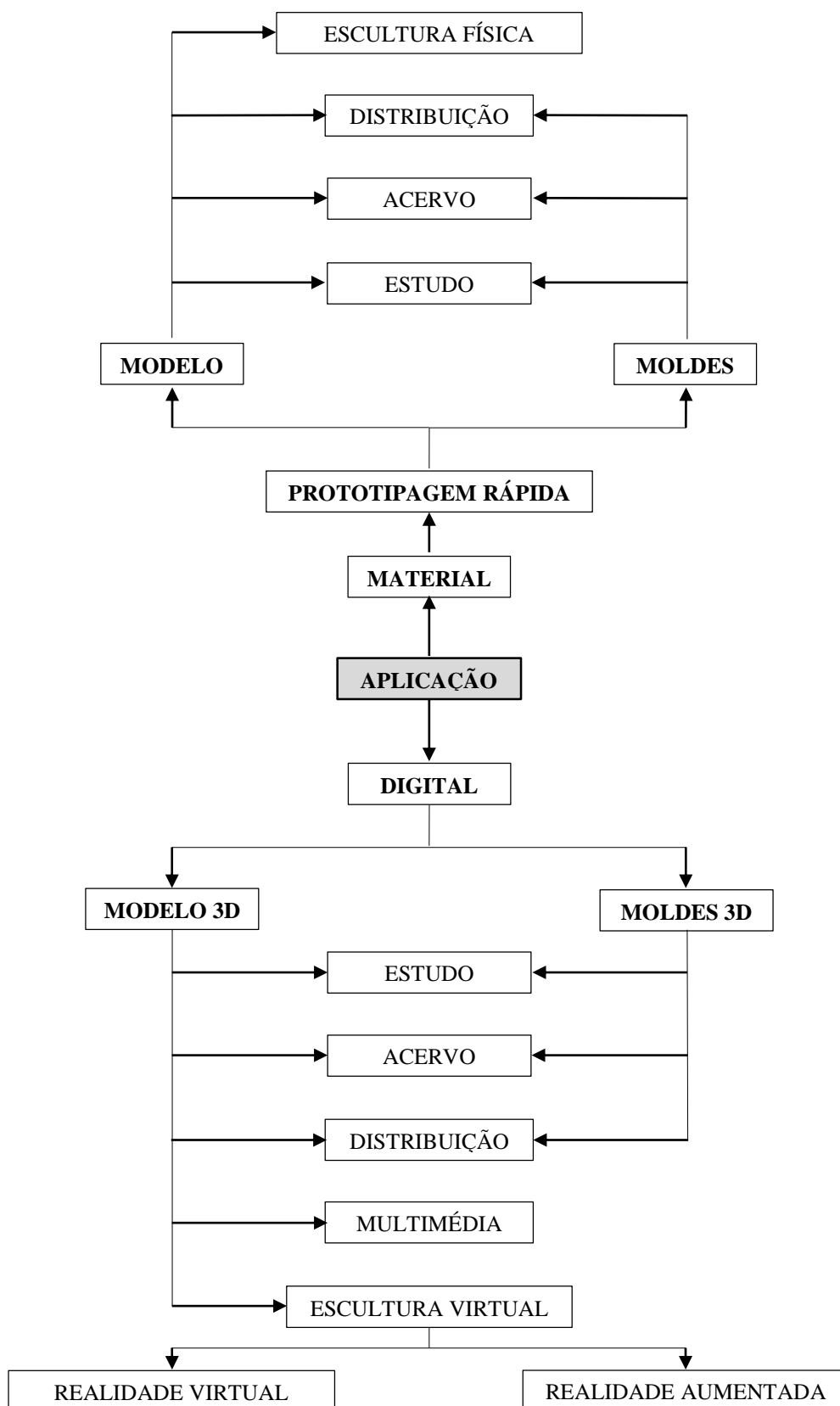


Fig. 6.2.
Diagrama de Aplicabilidade

CAPÍTULO 7.

O DIGITAL NO ÂMBITO DO ENSINO DA ESCULTURA

«Sendo a teoria ultrapassada pela simulação e a verdade pela eficiência, o conhecimento através de modelos digitais surge como uma vingança de Protágoras sobre o idealismo e universalismo platônico, como uma vitória inesperada dos sofistas sobre o organon lógico de Aristóteles».

Pierre Lévy⁷³

No decurso deste último capítulo, pretendemos observar as diversas realidades subjacentes à introdução dos meios digitais no ensino artístico da escultura. Além da bibliografia consultada, muitas dos aspetos que iremos analisar, assim como de algumas propostas apresentadas, decorrem da prática da nossa experiência profissional como docente das áreas da escultura, da geometria descritiva e das tecnologias digitais.

Inclusive, consideramos que foi através destas experiências que conseguimos clarificar o nosso entendimento e ponto de vista sobre os diversos aspetos que se encontram relacionados com o âmbito da escultura digital. Acreditamos que, decorrente

⁷³ Pierre Lévy, *As tecnologias da Inteligência – O Futuro do Pensamento na Era da Informática*. (1994: p. 158).

apenas de estudos e fundamentações teóricas, não seria possível compreendermos as especificidades artísticas e tecnológicas desta realidade.

Deste modo, procuraremos apresentar algumas soluções e estratégias que, de certo modo, permitem resolver os problemas que temos encontrado na prática escultórica desenvolvida através dos meios digitais, quer pela nossa parte, quer pela parte dos nossos alunos.

Além das referências relativas aos exemplos que têm lugar nas nossas aulas, pretendemos indicar, resumidamente, as práticas desenvolvidas paralelamente noutras áreas de ensino (e.g. arquitetura, *design*, arte digital e artes plásticas) através dos meios digitais.

7.1.

Os Meios Digitais no Ensino e na Aprendizagem

A introdução dos meios digitais nos processos de ensino e de aprendizagem, das diferentes áreas do saber, envolve uma profunda reflexão nas práticas didáticas e nas estratégias pedagógicas implicadas no universo escolar das instituições de ensino.

As potencialidades evidenciadas pela utilização destes novos meios, na facilitação da transmissão e aquisição do saber, fazem surgir uma crescente disponibilização de produtos multimédia, referentes às mais variadas esferas de conteúdos curriculares, permitindo a sua aplicabilidade em contexto de ensino presencial e/ou em contexto de ensino a distância.

Num mundo em constante mudança em que a produção do conhecimento e a inovação são indiscutivelmente necessárias para a construção de uma sociedade diferente daquela que conhecemos, a reflexão acerca da educação revela-se pertinente.

As rápidas transformações que ocorrem nas sociedades modernas imprimem um papel relevante aos processos educativos. Como consequência, a educação deve ser um ato permanente de desenvolvimento das pessoas e das sociedades, respondendo às necessidades de readaptação constante, das qualificações, dos conhecimentos e das aptidões dos cidadãos, ditadas pelas instâncias políticas e sociais. Desta forma torna-se pertinente a análise da aplicabilidade de novos produtos e tecnologias educativas nos cenários contemporâneos da educação.

Os paradigmas dos processos de ensino e de aprendizagem têm sofrido profundas alterações – e constantes adaptações – nas últimas décadas, tornando a relação entre o saber e o tecnológico numa realidade que, de um modo geral, conduz à eleição de processos educacionais de sinergias sistêmicas que concorrem para as exigências da sociedade contemporânea (Bertrand & Valois, 1994).

O funcionamento das sociedades pode ser analisado segundo um esquema de análise sistêmica, permitindo a sua extrapolação para a análise da relação bidirecional entre os paradigmas educacionais e as sociedades em que se inserem. As sociedades podem, assim, ser definidas como o encadeamento de três subsistemas: o campo paradigmático, onde se definem as orientações da sociedade, o campo político, como espaço onde se traduzem as orientações em normas, leis e regras, e, por fim, o campo organizacional, definido com o campo onde as normas, leis e regras se traduzem em práticas.

Deste modo, depreendemos que a relação entre sociedade e educação pode ser aplicada a funcionalidade deste esquema. Para Bertrand e Valois (*Op. Cit.*), as organizações educativas estão dependentes das regras ditadas pelo paradigma educacional e pelas políticas educativas que traduzem as orientações ditadas. No entanto, o paradigma educacional e, necessariamente, a estrutura operativa das organizações educativas estão diretamente ligados à reprodução do paradigma sociocultural dominante de uma sociedade. «O paradigma sociocultural delimita o que pode ser apreendido e o que vale a pena ser compreendido» (Bertrand & Valois,

1994:30). Exprime a ação exercida pela sociedade, a partir da sua atividade, sobre as suas práticas sociais e culturais.

Desta forma, os paradigmas educacionais cumprem funções que admitem a relação dialética entre a sociedade e as organizações educativas, permitindo, por um lado, a transição das exigências e orientações ditadas pela sociedade e, por outro, traduzindo os resultados das reflexões e das práticas pedagógicas que a organização educativa transmite à sociedade.

Observamos assim, a implementação exponencial de modelos educacionais, baseados na utilização das “novas” tecnologias, nos *curricula* das estruturas formativas dos modelos de ensino presentes nos diferentes ciclos, abrangendo, segundo uma perspectiva transversal, os níveis do pré-escolar até ao ensino universitário. Baseado em avaliações, por vezes prematuras, esta realidade promove, de acordo com Davis (1998), a implementação de partilha de saberes que dá corpo à chamada Tecnognose.

Além deste aspetos, atualmente os meios digitais assumem-se como importantes configurações operativas para o universo profissional da nossa sociedade. Permitem o estudo e desenvolvimento científico das mais diversificadas áreas. A sua aplicabilidade na economia global tem um aspeto determinante para as estabilidades políticas mundiais. Se este sistema colapsar, as consequências serão catastróficas. De certo modo, o mundo gira sobre estes meios, não havendo, no entendimento geral, retrocesso possível.

Deste modo, a introdução dos meios digitais no ensino acabou por revelar-se numa imposição de subsistência da espécie humana, uma vez que, sem a formação de novas gerações capazes de lidar com estas tecnologias, a nossa sociedade, dentro dos moldes como a conhecemos, acabaria por desmoronar-se (Revez, 2006).

Lévy (1994; 1999) afirma que na cultura contemporânea, os meios digitais promovem novas maneiras de pensar e conviver. As relações empreendidas entre o homem e as suas diversas atividades, inclusive a sua própria inteligência, dependem da

metamorfose incessante de dispositivos informáticos de ordens distintas. A realidade digital vai, gradualmente, apropriando-se da escrita, da leitura, da visão, da audição, do pensamento e da aprendizagem, concebendo estruturas «sociotécnicas» sobre as quais se desenrola o tecido cultural.

«Apesar de ser um *medium* federador do mundo contemporâneo dos *interfaces*, a informática não deixa de usar *auto-interfaces*, seguindo um ciclo de retroação positiva. Linguagens cada vez mais acessíveis à compreensão humana imediata, oficinas de engenharia informática, criadores de sistemas periciais, tornam a tarefa do informático cada vez mais lógica, sintética e conceptual, em detrimento do conhecimento dos segredos de uma determinada máquina ou de bizzarrias de uma determinada aplicação».

(Lévy, 1994: 136).

Assim, podemos depreender que a aplicação dos meios digitais, nas diversas práticas que os envolvem, implica uma sistematização do processo criativo, relevando para primeiro plano o aspeto do concetual como metodologia operativa. Lévy salienta ainda que:

«Em poucas dezenas de anos, a informática parece repetir o destino da escrita: inicialmente utilizada no cálculo, nas estatísticas, na mais prosaica gestão dos homens e das coisas, transformou-se rapidamente num meio de comunicações de massas, talvez ainda mais geral do que a escrita manuscrita ou a imprensa, visto que permite também tratar e difundir o som e a imagem enquanto tais. A informática não se limita, por exemplo, a escrever a música: contribui igualmente para a tocar.

[...]

É grande a tentação de condenar ou ignorar aquilo que nos é estranho. É possível que nem sequer nos apercebamos da existência de novos estilos de saber, muito simplesmente porque estes não correspondem aos critérios e às definições que nos constituem e que herdámos da tradição. E é igualmente tentador identificar determinados processos contemporâneos de comunicação e de processamento efetivamente grosseiros com o conjunto das tecnologias intelectuais ligadas aos computadores, confundindo assim a evolução da cultura informatizada com os seus primeiros passos».

(Lévy, *Op. Cit.*: 149)

No âmbito das ciências da educação, os meios digitais são precisamente o fator determinante para o desenvolvimento e implementação do paradigma sociocultural industrial, encontrando resposta nas teorias e práticas dos modelos educacionais tecnológicos, também conhecidos como sistémicos. Por outro lado, o modelo sistémico introduz o conceito da aquisição de conhecimento através da simulação, assumindo os meios digitais como o instrumento da sua aplicabilidade.

«Um modelo digital não é *lido* ou *interpretado* como um texto clássico: é quase sempre *explorado* de modo interativo. Ao contrário das descrições funcionais em papel ou dos modelos reduzidos analógicos, o modelo informático é essencialmente plástico, dinâmico, dotado de uma certa autonomia de ação e reação. (...) é esta dimensão interativa que dá hoje a sua conotação ao termo simulação, distinguindo-a da imitação ou da mistificação. O *conhecimento por simulação* é sem dúvida um dos novos géneros do saber produzidos pela ecologia cognitiva informatizada.

[...]

Os cientistas de todas as disciplinas recorrem cada vez mais às simulações digitais para estudar fenómenos inacessíveis à experiência (nascimento do universo, evolução biológica ou demográfica) ou simplesmente

para avaliar, com custos mínimos, o interesse de novos modelos, mesmo quando a experimentação é possível. Finalmente, as aplicações de inteligência artificial podem ser consideradas como simulações de capacidades cognitivas humanas: visão, raciocínio, etc».

(Lévy, *idem*: 154).

Se observarmos atentamente, este autor escreveu este texto no início dos anos 90, aquando da disseminação exponencial dos computadores pessoais e da *internet*. Embora consistissem em explorações embrionárias, foi também nesta época que os meios digitais foram introduzidos no ensino. Como curiosidade para o leitor, nos anos 90 frequentávamos o curso de Escultura da Escola Superior de Belas-Artes de Lisboa (hoje, Faculdade de Belas-Artes), onde podíamos observar a utilização dos meios digitais por parte dos alunos dos cursos da Faculdade de Arquitetura, uma vez que o edifício era partilhado por estas duas instituições.

Em parte, podemos afirmar que o instante *alfa* desta investigação começou nesse momento. Foi através da troca de experiências e de saberes com os nossos colegas de arquitetura e de *design* que demos os primeiros passos na utilização dos meios digitais, consistindo em algo deslumbrante que permitia realizar esculturas através de um computador. A consequência resultou no interesse por encarar e utilizar estes meios como tecnologias e como *medium* de expressão para a escultura. Foi assim, de modo gradual, que percebemos as tecnologias de simulação e visualização como um instrumento intelectual, permitindo alargar e suplementar a faculdade de imaginar.

Deste modo, torna-se evidente a importância que os meios digitais assumem no âmbito do ensino das artes plásticas, do *design* e da arquitetura. Naturalmente que poderíamos referir outros campos de relevância, respeitando outras realidades e exigências mas, em nosso entender, as áreas indicadas partilham características específicas, por exemplo, ao nível do projeto, da imaginação e da realização, que nos interessa observar.

7.2.

Nas Artes Plásticas, nas Artes Digitais, no *Design* e na Arquitetura

Atualmente, o ensino das artes plásticas, das artes digitais, do *design* e da arquitetura envolve a utilização dos meios digitais para a formação e aprendizagem de diversas áreas relativas às suas especificidades. Estes territórios do saber e do fazer não permitem o divórcio entre a técnica e a teoria. Seria inconcebível podermos imaginá-lo de outra forma. Na verdade, o matrimónio entre a arte e a técnica assume-se como um elo inquebrável; este aspeto configura uma realidade idiossincrática que se desenrola desde as primeiras manifestações de arte, e de construção de utensílios, até ao presente.

A sociedade contemporânea implica um processo de ensino que responda às suas sucessivas demandas. Como observámos, a presença dos meios digitais é imposta nos mais variados campos profissionais da nossa sociedade, determinando a criação de estruturas curriculares que permitam o ensino e a formação destas tecnologias, conjugando-as com os conteúdos específicos dos diferentes cursos.

Assim, considerando as diversas soluções das saídas profissionais para os seus alunos, os *curricula* dos cursos de arte, *design* e arquitetura integram unidades curriculares que apresentam conteúdos específicos, desenvolvidos para o estudo destes meios tecnológicos. Neste âmbito, os diversos cursos pesquisados⁷⁴ apresentam unidades curriculares referentes ao universo digital que são transversais aos seus conteúdos programáticos.

⁷⁴ A pesquisa realizada consistiu na consulta dos endereços eletrónicos de diversas universidades que ministram os cursos do 1º e 2º ciclo das áreas referidas. Esta pesquisa permitiu-nos observar os diferentes conteúdos curriculares desenvolvidos em instituições de ensino estrangeiras, assim como em instituições de ensino nacionais. Como aspeto de relevo, interessa-nos salientar que as estruturas dos diversos *curricula* que analisámos – quer ao nível nacional, quer ao nível europeu – têm essencialmente a mesma configuração.

-
Consistindo numa extensa lista, não consideramos necessária a sua enunciação, uma vez que, se o leitor o pretender, poderá facilmente aceder a este tipo de informação através da *internet*. No entanto, procurámos coligir esta informação de modo a apresentar um conjunto de disciplinas temáticas que, em nosso entender, representam as mais significativas.

De um modo geral, os cursos de arquitetura e de *design* de produtos, que analisámos, empregam os meios digitais para o desenvolvimento das metodologias de projetos. Como observámos anteriormente, estas tecnologias acrescentam grandes vantagens para os processos de realização dos diversos estágios de um projeto. Desta forma, os meios digitais permitem aos alunos de arquitetura e de *design* a exploração formal e funcional dos elementos que pretendem realizar.

Estas duas áreas científicas recorrem, essencialmente, a programas de computação gráfica de 2D e de 3D CAD para a realização das representações dos seus exercícios. Assim, os *softwares* que encontram mais utilização referem-se aos sistemas de engenharia inversa e de modelação paramétrica em 3D, uma vez que as especificidades destes tipos de cursos, por hábito não exploram a modelação livre.

Além da sua aplicabilidade na área da metodologia do projeto, os meios digitais têm uma importância relevante na prototipagem rápida de modelos de estudo ou de protótipos de objetos. Através desta tecnologia os alunos podem ensaiar as diversas aplicabilidades materiais dos objetos, de modo a aperfeiçoarem a sua forma original.

Por fim, os diversos cursos de arquitetura e de *design* de produtos disponibilizam unidades curriculares em que se exploram as tecnologias referentes à renderização de imagens em 3D. Com este tipo de meios os alunos aprendem a realizar apresentações virtuais e interativas dos seus projetos, quer para efeitos de avaliação, quer para futuras aplicações profissionais.

No âmbito dos cursos de artes plásticas, das artes digitais e do *design* gráfico, e no que se refere aos meios digitais, pudemos constatar que as diferentes unidades curriculares abrangem as áreas teóricas e as áreas práticas. Assim, como exemplo, podemos referir as unidades curriculares que estudam os aspetos da história da arte digital, das teorias da estética digital e das teorias dos *media*.

Relativamente aos aspetos técnicos dos meios digitais, encontrámos inúmeras soluções que, na maioria dos casos, consistem em unidades curriculares de escolha

optativa. Deste modo, e de acordo com os diferentes cursos referidos, os alunos dispõem de um conjunto de alternativas que lhes permite frequentar unidades curriculares tecnológicas que exploram os aspetos das seguintes áreas de estudo: metodologia do projeto, computação gráfica (e.g. desenho, pintura e ilustração digital; modelação 3D; ambientes interativos; animação digital e escultura digital), *web design*, *net.art*, *game design*, audiovisuais, instalação, prototipagem rápida e, por exemplo, tipografia digital.

Assim, podemos depreender que a utilização dos meios digitais assume-se como uma solução de destaque para a lecionação das diversas áreas curriculares indicadas. Quer no panorama internacional, quer ao nível do nosso país, estes meios consubstanciam realidades que introduzem novos paradigmas nos modelos educacionais da sociedade. No campo do ensino das artes, do *design* e da arquitetura, observamos a sua crescente utilização, revelando novas soluções técnicas e plásticas que, gradualmente, servem as teorias e as práticas contemporâneas apreendidas pelos nossos alunos.

Neste contexto, Lévy (1994) acrescenta que a aprendizagem realizada através destes meios promove três grandes capacidades cognitivas: a faculdade de perceber, de imaginar e de manejar. Estas capacidades estão intrinsecamente ligadas ao fazer artístico, uma vez que conjugam a perceção, a imaginação e a operacionalidade. Sem elas, as diversas dimensões da prática artística estão condenadas. Como este autor salienta:

«A faculdade de *perceção* ou de reconhecimento de formas caracteriza-se pela sua grande rapidez. Numa fração de segundo, o sistema cognitivo estabiliza-se na interpretação de uma exatidão particular dos recetores sensoriais. Reconhecemos imediatamente uma situação ou um objeto, vemos a solução de um problema simples, sem termos necessidade de recorrer a uma cadeia de deduções conscientes. (...).

A faculdade de *imaginar*, ou de fazer simulações mentais do mundo exterior, é uma espécie particular da percepção, desencadeada por estímulos internos. Permite-nos antecipar as consequências dos nossos atos. A imaginação é a condição da escolha ou da decisão deliberada (...). Graças a esta faculdade, tiramos partido das nossas experiências anteriores. A capacidade de simular o ambiente e as suas reações desempenha indiscutivelmente um papel capital para todos os organismos capazes de aprendizagem.

Finalmente, dispomos de uma faculdade operatória ou manipulatória, (...). A aptidão para manejar é a marca distinta do *homo faber* (...). Este poder de manusear e adaptar o ambiente irá revelar-se crucial para a constituição da cultura (...). De facto, é por possuímos importantes aptidões para a manipulação e o manejo que podemos modificar, reordenar e dispor de parcelas do mundo que nos rodeia de um modo tal que estas acabam por *representar* alguma coisa».

(Lévy, *Op. Cit.*: pp. 237-238).

Assim, e na presença destes argumentos, resta-nos analisar a aplicação dos meios digitais no âmbito do ensino da escultura.

7.3.

No Ensino da Escultura

Exercendo as funções de docente do Departamento de Escultura da Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa, consideramos pertinente proceder à análise da aplicabilidade dos meios digitais no ensino da escultura. Como referimos no início deste capítulo, esta intenção relaciona-se com a observação de um estudo de caso que decorre da interseção de três aspetos: a nossa experiência profissional, a nossa experiência pessoal e as investigações teóricas que temos realizado sobre a escultura digital.

Como docentes das disciplinas de Geometria Descritiva, de Escultura e de Desenho Digital e Modelação 3D, encaramos os meios digitais como um possível denominador comum entre estas diversas áreas do saber e do fazer. Além deste aspeto, consideramos que estes meios assumem – numa perspetiva didático-pedagógica – uma importância pragmática.

Assim, observamos o desenvolvimento de novas competências, quer ao nível da fruição, quer ao nível de utilização, num contexto em que os estudantes vivenciam uma realidade precocemente compartilhada com a televisão, com os videojogos, com a *internet* e com o computador pessoal (Revez, 2006).

Como referimos acima, a utilização dos meios digitais para o ensino da escultura consiste numa realidade significativa nos cursos ministrados noutros países. Porém, a sua utilização no nosso país têm encontrado alguns entraves. Seria interessante percebermos as razões deste facto; inclusive poderíamos encontrar respostas de relevo que nos permitiriam esclarecer algumas dúvidas pertinentes com que nos deparamos. Não considerámos estes aspetos nas intenções para a redação deste texto, embora possam servir de matéria para estudos futuros.

Deste modo, procuraremos analisar algumas perspetivas que consideramos significativas para o ensino da escultura, decorrentes dos resultados e dificuldades que temos observado na leção das nossas aulas. Neste sentido, optámos por estruturar dois campos de ação: por um lado, apresentar exemplos que empregamos nas práticas letivas, por outro lado, propor possíveis alternativas que facilitem estes processos.

Porém, gostaríamos de ressaltar um aspeto importante nesta fase, que, de certa forma, pode ser encarada como um ato de redenção perante as perspetivas menos apologistas do uso das tecnologias digitais. Não é, no entanto, a nossa intenção. O fascínio que decorre da aplicação destas tecnologias não deve ser observado despreocupadamente.

Como professores, temos a obrigação de orientar a sua utilização de forma cuidada. Não consideramos os meios digitais como tecnologias ou como formas de expressão que absorvam os métodos tradicionais da prática escultórica. São alternativas que se apresentam ao escultor e ao aluno que permitem outras práticas, que permitem outros discursos, que provocam outras atitudes perante o objeto artístico.

A Escultura, como outras formas de arte, é um fenómeno que acompanha a humanidade desde a sua origem, contribuindo para um legado material das inúmeras manifestações que tiveram lugar no espaço e no tempo. Principalmente na área do ensino, a sua tradição deve ser transmitida às novas gerações sob as mais variadas formas possíveis. Os meios digitais são delas um exemplo.

▪ 1º Ciclo

No 1º ciclo de estudos da escultura, as tecnologias digitais têm uma presença inibida, uma vez que se pretende que os alunos criem uma relação inicial com os diversos métodos tradicionais disponíveis. Deste modo, no 1º ano do curso do 1º ciclo, os alunos aprendem a dominar as diferentes técnicas fundamentais nas unidades curriculares de Escultura, de Estudos Laboratoriais e de Estudos Tecnológicos através de exercícios de exploração.

Pontualmente, deparamo-nos com intenções tímidas de alunos que pretendem responder a propostas de enunciados através da modelação 3D, aos quais, naturalmente procuramos dar uma resposta positiva. Pessoalmente, esta ténue realidade permite-nos depreender dois aspetos significativos: por um lado, a generalidade das gerações de alunos dos níveis iniciais não tem conhecimento desta área da Escultura. Por outro lado, e de forma gratificante, já encontramos algumas propostas conducentes à aplicação dos meios digitais.

As artes digitais, em geral, e a escultura digital, em particular, representam soluções que, na nossa perspetiva, deviam assumir maior protagonismo no final do 1º ciclo de estudos. Um escultor não se forma em três anos mas, «o 1º ciclo de estudos em Escultura visa proporcionar uma sólida formação artística e científica de base, com várias competências genéricas e interdisciplinares, agregando especialidades dos Estudos Nucleares de Escultura e de Estudos Tecnológicos de Escultura, proporcionando uma preparação de banda larga, visando o aumento de competências e os possíveis níveis de empregabilidade».⁷⁵

Estamos cientes das diversas dificuldades com que o Ensino Superior se debate atualmente, como ao nível dos orçamentos, como ao número de pessoal docente e de equipamentos. Sabemos também que esta lacuna não resulta de intensões contrárias à utilização dos meios digitais no âmbito do ensino da escultura. Inclusive, iremos observar que a sua aplicabilidade é feita essencialmente no 2º ciclo, respondendo plenamente às exigências pretendidas.

No entanto, consideramos que estes meios têm sido por nós implementados, embora consideremos que deveriam ter maior eco no 1º ciclo, permitindo aumentar o número de propostas curriculares oferecidas, de modo a não correremos o risco de formar alunos licenciados sem os conhecimentos que a nossa sociedade exige nesta área. Além destes aspetos, os meios digitais podem complementar outras áreas de estudo deste ciclo. Como exemplos, podemos referir a representação da figura humana, os Laboratórios de Escultura, de Estudos Tecnológicos de Escultura e de Projeto.

Não pretendemos questionar os conteúdos destas unidades curriculares, muito menos criar qualquer tipo de conflito. No entanto, esperamos que estas observações permitam a reflexão sobre esta problemática, tendo em consideração as diferentes vantagens que temos vindo a apontar ao longo desta investigação. Aliás temos contribuindo neste sentido com todo o nosso empenho.

⁷⁵ Informação consultada em <http://www.belasartes.ulisboa.pt/cursos/licenciaturas/escultura>. 29 de Setembro de 2015.

▪ **2º Ciclo**

O 2º ciclo de estudos compreende os Estudos de Escultura e os Estudos de Escultura Pública. Neste contexto, é proporcionado aos alunos desenvolverem e aprofundarem os conhecimentos obtidos com a frequência do 1º ciclo, permitindo a estrutura de uma base de desenvolvimentos e/ou aplicações originais, a partir da reflexão, da investigação e do estudo da teoria da escultura.

Assim, é pedido ao aluno o desenvolvimento de propostas para a realização de obras no âmbito da Escultura ou da Escultura Pública. Para este efeito, existe uma transversalidade entre diversas unidades curriculares que procuram explorar e orientar os diferentes aspetos do processo criativo da obra (e.g. plásticos, compositivos, materiais, tecnológicos e projetuais). Deste modo, o processo de trabalho é coordenado através do desenvolvimento das unidades curriculares de Projeto de Escultura, Laboratório de Escultura, Desenho Digital 3D e Modelos Tridimensionais.

Os conteúdos curriculares desenvolvidos na disciplina de Desenho Digital 3D têm como objetivo a exploração de duas vertentes: por um lado, pretende-se que o aluno adquira os conhecimentos para a representação digital dos elementos necessários, conducentes ao desenvolvimento de um projeto de escultura. Por outro lado, permitir ao aluno adquirir os conhecimentos necessários para a utilização dos meios digitais como instrumento de ensaio morfológico e/ou como *medium* de expressão.

Os aspetos referentes à representação digital conjugam os sistemas de representação – que se utilizam para este efeito – com os processos de impressão das imagens sobre papel, permitindo a elaboração de um caderno de encargos onde se apresentam os seguintes elementos: desenhos técnicos cotados, esboços de exercícios de estudo, memória descritiva, orçamento de trabalho e de materiais e, por exemplo, imagens renderizadas que simulam os aspetos materiais e texturais, os efeitos lumínicos e a disposição do objeto escultórico no ambiente a que se destina. Assim, para a

realização destas finalidades, o aluno apreende as diferentes técnicas necessárias através da aplicação dos sistemas de computação gráfica.

Sob outra perspectiva, e como já referimos, os meios digitais podem assumir-se como instrumentos que permitem explorar ensaios a diversos níveis de estudo morfológico. Assim, o aluno pode aplicar estes meios na criação e no desenvolvimento de alternativas formais ao seu trabalho escultórico.

Através dos conhecimentos adquiridos nas áreas da modelação paramétrica e da modelação livre em 3D, o aluno apropria-se de um conjunto de instrumentos que lhe permitem operar segundo novas tecnologias disponíveis na área do projeto escultórico. Além dos processos referentes ao estudo da forma, dos materiais e texturas, passando pelas simulações de efeitos lumínicos e de distribuição espacial, estes meios permitem a aplicação das tecnologias de prototipagem rápida.

Neste contexto, o aluno pode utilizar estes processos – através da manufatura aditiva ou subtrativa – de modo a obter um modelo físico do seu projeto sob diferentes materiais e métodos de impressão 3D. Estes modelos servem para estudos de volume de superfície, permitindo a sua aplicação na maqueta física exigida no desenvolvimento das outras unidades curriculares.

Por fim, os meios digitais permitem a utilização de um outro *medium* de expressão artística. De acordo com esta realidade, os alunos do 2º ciclo podem utilizar estes meios para realizarem uma escultura virtual. Através das diversas aplicações de realidades híbridas o aluno pode, assim, explorar soluções alternativas que permitem conjugar, por um lado, a interatividade entre o observador e a obra escultórica. Por outro lado, estas realidades implicam uma atitude de imersividade, promovendo um diálogo íntimo que se estabelece no ato de fruição.

Deste modo, evidenciam-se propostas formais e plásticas, assim como intenções de poéticas que se assumem como novos paradigmas na área da escultura.

Como forma de conclusão deste último capítulo, e como observação pessoal, importa referirmos que temos comprovado uma adesão com crescente entusiasmo na aplicação dos meios digitais pelos nossos alunos. Deste modo, torna-se evidente a importância com que estes meios se assumem para a prática das novas gerações dos estudantes de escultura.

Como é característico na profissão de um professor, além dos aspetos relativos à transmissão dos saberes, temos aprendido e alargado os nossos horizontes, na área da escultura digital, com a troca de experiências com os nossos alunos. Em nosso entender, esta é uma das razões que assume grande significado para a realização desta investigação.

CONCLUSÃO

De um modo geral, a fase de conclusão de uma investigação na área científica evidencia diversos sentimentos. Por um lado resultam sempre na noção que poderíamos ter acrescentado mais aspetos de relevo que permitiriam uma clarificação mais precisa do assunto tratado.

A construção deste texto, como em todas as investigações, assumiu momentos marcantes que, de certa forma se refletem na sua estrutura e composição. No entanto, resultou de uma perspectiva que pretendeu conjugar um saber teórico com um saber prático.

Como docentes do curso de escultura considerámos pertinente a exploração desta temática, uma vez que nos permitiu clarificar e expor os conhecimentos de uma realidade que nos é próxima. Neste contexto, esperamos ter contribuído para futuras reflexões e investigações no âmbito dos estudos de escultura e das tecnologias digitais aplicadas à escultura digital contemporânea.

Porém, e como é recorrente numa conclusão, interessa referir os aspetos relevantes que decorreram desta investigação, considerando as temáticas que foram observadas, as particularidades dos meios tecnológicos digitais, as suas aplicabilidades, as suas funcionalidades e as influências que promovem ao panorama da escultura.

Como assumimos no decurso deste texto, estes aspetos tiveram sempre em consideração a área profissional e a área do ensino da escultura. Assim, sempre que possível, procurámos distinguir estes dois campos de ação.

Os meios tecnológicos e os seus instrumentos acompanham o ser humano desde o início da sua história. Através da tecnologia o Homem moldou a sua história, constitui-se em sociedade e desenvolveu a sua cultura. Prometeu, o titã, foi quem roubou o fogo aos deuses para o entregar aos humanos. Neste mito da cultura clássica grega, o fogo representa o conhecimento e a tecnologia. Na verdade, o homem deve a sua existência ao fogo e ao seu domínio.

Assim, as sociedades dependem da comunhão entre o saber científico e o saber tecnológico para se desenvolverem. A cultura de uma sociedade acrescenta uma outra dimensão a esta equação: a Arte.

Deste modo, depreendemos que o saber agrega três polos dominantes: a arte, a ciência e a tecnologia. Durante a nossa história podemos observar períodos de separação entre estas formas de cultura, emergindo em crises de identidade para as diferentes partes.

O século XX assistiu à separação de dois tipos de cultura e de duas comunidades. Por um lado a cultura científica, constituída pela realidade e pela lógica. Por outro, a cultura dos artistas e dos intelectuais, que agrega o sonho, a fantasia e as emoções.

Como pudemos constatar, este divórcio não poderia ter sucesso. O desenvolvimento das ciências e das tecnologias computacionais permitiu reconciliar estas duas culturas. Através das tecnologias digitais criaram-se as condições para gerar uma nova forma de cultura: a cultura digital. Como referimos, o período da Guerra Fria serviu de catalisador para o desenvolvimento de soluções que permitiram esta realidade.

Deste modo, a cultura digital consiste num fenómeno que consubstancia as capacidades criativas e imaginativas com as capacidades científicas e tecnológicas do indivíduo. Presentemente este aspeto torna-se vital para a vida social.

Neste contexto, o panorama das artes sofreu alterações significativas, oferecendo uma democratização de expressão artística sem precedentes na nossa história. Assim, com os meios digitais o artista contemporâneo dispõe de novas alternativas para a sua expressão mas, para o fazer necessita de um conhecimento partilhado pela cultura científica.

Os novos *media* implicaram adaptações técnicas e promovem novas formas de estruturar o pensamento e a imaginação. Os meios digitais introduziram processos distintos no âmbito da prática da escultura. Por um lado, permitem o desenvolvimento concetual segundo abordagens que diferem dos processos tradicionais analógicos. Por outro lado consistem em poderosas ferramentas que intersetam inúmeras soluções e alternativas. Por fim, estes meios permitem a eleição de um novo *medium* de expressão escultórica.

Esta investigação serviu-nos para encararmos a aplicabilidade das tecnologias digitais como uma importante solução na prática profissional e no ensino. Como meio concetual as tecnologias de modelação 3D revelam proficiências que se ampliam ao campo da metodologia projetual e ao campo da criação artística. Na área do projeto é possível ensaiar inúmeros valores plásticos como, por exemplo, os aspetos morfológicos, os aspetos materiais e texturas, os diversos efeitos lumínicos e a interatividade.

A metodologia processual empregue para a realização de uma escultura digital compreende diferentes estágios que permitem operar na aquisição de dados volumétricos, no tratamento e edição dos dados e, por fim, na sua aplicação. Atualmente, as potencialidades destas tecnologias encontram grande aprovação por parte das comunidades artísticas a nível global.

A aplicação deste tipo de tecnologias apresenta alternativas para outras áreas. A área da preservação e do restauro e a área do acervo de escultura consiste num destes exemplos. Os meios digitais permitem a resolução de problemas com que estes departamentos se deparam. Por um lado possibilitam a arquivo de informação de objetos delicados com grande exatidão sem danificar as suas estruturas. Por outro vêm resolver problemas de infraestruturas ao permitirem o arquivo digital.

Na área que nos diz mais respeito, a do ensino, pudemos constatar que a utilização dos meios digitais é uma realidade partilhada. No entanto, consideramos que a sua aplicabilidade deveria ter mais relevância, uma vez que permite soluções alternativas para o ensino desta disciplina. Como referimos, a escultura digital é uma realidade incontornável. Os nossos alunos devem ter acesso a estes meios tecnológicos.

Fazendo parte integrante da nossa sociedade e como potenciais artistas plásticos, estes meios não lhes devem ser negados. Inclusive, corremos o risco de formar alunos com algumas limitações a nível científico. Uma das preocupações das instituições de ensino está relacionada com os aspetos das saídas profissionais.

Como é sabido, os cursos de artes plásticas não encontram um mercado de grande procura. As competências profissionais que se podem oferecer com o ensino destas tecnologias ampliam as possibilidades dos estudantes destes cursos.

A empregabilidade decorrente destas áreas é vasta. Em nosso entender as condições estão criadas de modo a podermos encarar o ensino destes meios com mais relevância, embora estejamos cientes das dificuldades orçamentais e de pessoal docente que presentemente se observam no ensino.

Como propostas para o ensino, consideramos que as interseção entre as práticas analógicas com as práticas digitais assumem soluções que não estão devidamente exploradas. Os meios digitais podem ser aplicados em unidades curriculares de modo a complementarem lacunas. Por outro lado permitem ainda o ensaio de alternativas que são específicas de cada área de estudos.

Além dos estudos tecnológicos de escultura, os estudos teóricos deveriam observar com mais cuidado as artes digitais. O ensino pré-universitário não contempla nos seus *curricula* conteúdos referentes a esta forma de expressão plástica. Deste modo, são poucos os alunos dos cursos superiores de escultura que têm conhecimento sobre a realidade da escultura digital contemporânea.

Na nossa perspectiva, a utilização dos meios digitais pode ainda servir outro propósito. Num período em que as universidades necessitam de se autofinanciar, as tecnologias digitais podem responder a algumas destas necessidades. Como observámos, o ramo do comércio de produtos 3D encontra-se em livre expansão. Atualmente as áreas da digitalização 3D e da manufatura aditiva representam lucros significativos.

Esta realidade é testemunhada a nível global. Presentemente os custos implicados neste tipo de tecnologia são reduzidos. Com poucos recursos financeiros é possível criar um laboratório de digitalização 3D, de modelação e de prototipagem rápida.

Através destes meios seria possível desenvolver um projeto que, naturalmente, implicaria a colaboração dos alunos para a realização destes processos. Paralelamente à prática desenvolvida por outras instituições de ensino superior, a Faculdade de Belas-Artes poderia implementar esta solução, uma vez que reúne as condições necessárias para este efeito. Além do pessoal docente, de técnicos, de monitores e de alunos, detêm um património cultural significativo.

Seria do nosso agrado que esta proposta fosse observada pelas entidades competentes para esta finalidade. Como apresentámos nesta investigação as alternativas são incontáveis. Como organismo cultural, temos a obrigação de difundir a nossa cultura. Já o fazemos através da formação das diversas gerações de alunos que temos formado. As tecnologias digitais, concretamente as que se referem ao 3D, podem complementar esta partilha de saberes.

O legado da escultura que se encontra presente nesta Faculdade pode ser transmitido sob a forma digital – com o recurso ao museu virtual – ou sob a forma material, através da manufatura aditiva de modelos escultóricos ou de moldes.

O desenvolvimento das tecnologias digitais decorre a um ritmo inexorável. Nesta realidade, a novidade faz parte do passado. Durante o período em que decorreu esta investigação assistimos ao aparecimento de inúmeras soluções. As versões de *software* de modelação 3D multiplicaram-se, a fotogrametria está aplicada aos *smartphones* e aos *tablets*, os dispositivos de realidade híbrida invadiram o mercado e a impressão 3D passou a ser de uso corrente.

Não sabemos o que nos reserva o futuro. As artes e as ciências tecnológicas têm esta particularidade: estão constantemente em mudança, em constante transformação. A cultura digital, assumindo-se como cenário de desenvolvimento destas duas realidades é, precisamente, caracterizada por estes aspetos. Vivemos numa época em que os resultados desta comunhão podem rapidamente passar despercebidos.

Mas consideramos que esta “novidade” tecnológica veio para ficar. A breve história da escultura digital contemporânea assenta num percurso experimental. Por vezes a sua forma de expressão gera acessos debates. «...mas, se não tem matéria, se não é palpável como é que pode ser uma escultura?». Esta é uma das questões que julgámos responder com esta investigação.

A escultura digital assume novas propostas e novas reflexões para os Estudos de Escultura. Inclusivamente arroga-se de discursos e manifestações que ainda não se estabeleceram claramente. De uma certa perspetiva é uma realidade paradoxal. Numa área que encontra na matéria física o seu *medium* de expressão natural, o digital permitiu revolucionar esta realidade.

Como começamos por escrever nesta conclusão, ficaram por referir aspetos que permitiriam uma compreensão mais clara. Sem querermos velar esta culpa, sabemos no entanto que amanhã algumas realidades que procurámos proferir terão desaparecido.

Pela parte que nos respeita, continuaremos a explorar estes meios tecnológicos, com a intenção de aprofundar um saber que nos acompanha desde o período de estudantes de escultura. Como professores desta área acreditamos que assim nos é exigido.

Como conclusão, resta-nos acreditar que encontrámos um tema de investigação que permite novas e significativas explorações para o âmbito da escultura.

BIBLIOGRAFIA

ABAJO, F. Javier Rodriguez de, & BLANCO, Alberto Revilla, (1990).

Geometria Descriptiva, Sistema de Perspectiva Conica, San Sebastian: Editorial Donostiarra.

ABAJO, F. Javier Rodriguez de, & BLANCO, Alberto Revilla, (1991).

Tratado de Perspectiva, San Sebastian: Editorial Donostiarra.

AICHER, Otl, (2001).

Analógico y digital. Barcelona: Gustavo Gili.

ALSINA, Pau, (2007).

Arte, Ciencia y Tecnología. Barcelona: Editorial UOC.

ANEIROS, Lola Dopico, (2006).

Inter(medios): Inestabilidad, Creación y Cultura Digital. Vigo: Universidade de Vigo.

ASENSI, Fernando Izquierdo, (1997).

Geometría Descriptiva. Madrid: Editorial Paraninfo Magallanes.

AZEVEDO, Eduardo & CONCI, Aura, (2003).

Computação Gráfica: Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Editora Campus.

AZUMA, Ronald, (1997).

«**A Survey of Augmented Reality**». in *Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355-385.

BÁEZ, Ricardo Zalaya & CALONGE, Javier Barrallo, (2006)

La Escultura Matemática y su Clasificación. Valencia: UPV Ed.

BALLE, Francis, (2003).

Os Media, Porto: Campo das Letras – Editores.

BARFIELD, Woodrow, (1995).

Virtual Environments and Advanced Interface Design. Oxford: Oxford University Press.

BARFIELD, Woodrow (Ed). (2015).

Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality (2ª Ed). New York: CRC Press.

BARNATT, Christopher, (2014).

3D Printing: Second Edition. ExplainingTheFuture.com

BARTINA, Lluís Villanueva, (1996).

Perspectiva Lineal, su Construcción y su Relación con la Fotografía. Barcelona: Edicions UPC.

BAYER, Raymond, (1979).

História da Estética. Lisboa: Editorial Estampa.

BEARDSLEY, John, (1989).

Earthworks and Beyond: Contemporary Art in the Landscape. New York: Cross River Press, Ltd.

BERMEJO, Pedro Juan Sánchez, (2011).

Virtualidad y Creatividad Escultórica. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Tese de Doutoramento – Facultad de Bellas Artes; Departamento de Escultura.

BERTRAND, Yves, (1991).

Teorias Contemporâneas da Educação, Lisboa: Publicações Instituto Piaget.

BERTRAND, Yves & VALOIS, Paul, (1994).

Paradigmas Educacionais – Escola e Sociedade, Lisboa: Publicações Instituto Piaget.

BIOCA, Frank & LEVY, Mark, (1995).

Communication in the Age of Virtual Reality. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

BOEHLER, Wolfgang & MARBS, Andreas, (2002).

«3D Scanning Instruments». Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, University of Applied Sciences, Mainz, Germany.

<http://scanning.fh-mainz.de> – Consultado em 5/8/2015

BUSH, Vannevar, (1945).

«As We May Think». in *The Atlantic Monthly*.

CADOZ, Claude, (1996).

A Realidade Virtual. Lisboa: Instituto Piaget.

CALVINO, Italo, (1990).

Seis Propostas Para o Próximo Milénio – Lições Americanas. São Paulo: Companhia das Artes.

CALVINO, Italo, (1991).

As Cidades Invisíveis. Lisboa: Editorial Teorema.

CAUSEY, Andrew, (1998).

Sculpture Since 1945. Oxford: Oxford University Press.

CHAVARRÍA, Javier, (2002).

Artistas de lo Inmaterial. Hondarribia: Editorial Nerea, S.A.

CHENG, Ron, (2014).

Inside Rhinoceros 5. Stamford, CT: Cengage Learning

CHING, Francis D.K. & JUROSZEK, Steven, (2001).

Representação Gráfica para Desenho e Projecto. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA.

COLSON, Richard, (2007).

The Fundamentals of Digital Art. London: AVA Publishing SA.

CORNELIO, Gemma San, (2008).

Arte e Identidad en Internet. Barcelona: Editorial UOC.

CRAIG, Alan, (2013).

Understanding Augmentend Reality – Concepts and Applications. Waltahm, MA: Morgan Kaufmann.

DAVIS, Douglas, (1995).

«**The Work of Art in the Age of Digital Reproduction (An Evolving Thesis: 1991 – 1995)**». in *Leonardo*, Vol. 28, No. 5, Third Annual New York Digital Salon, 1995, pp. 381 – 386: The MIT Press

DAVIS, Erik, (1998).

Tecnognose - Mito, Magia e Misticismo na Era da Informação. Lisboa: Editorial Notícias.

DE FUSCO, Renato, (1988).

História da Arte Contemporânea. Lisboa: Editorial Presença.

DE FUSCO, Renato, (2008).

El Placer del Arte – Comprender la Pintura, la Escultura, la Arquitectura y el Diseño.

Barcelona: Editorial Gustavo Gili SL.

DEBORD, Guy, (1991).

A Sociedade do Espectáculo. Lisboa: mobilis in mobile.

DEBORD, Guy, (1995).

Comentários sobre a Sociedade do Espectáculo. Lisboa: mobilis in mobile.

DEBRAY, Régis, (1994).

Vida y Muerte de la Imagen, Barcelona: Ediciones Piados Ibérica.

DIAS, Pedro da Silva, (2014).

Design e Auto-Produção – Novos Paradigmas para o Design de Artefactos na Sociedade Pós-Industrial. A Contribuição das Tecnologias Digitais.

Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Belas-Artes. Tese de Doutoramento.

DOLLENS, Dennis, (2002).

De lo Digital a lo Analógico. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA.

EBRAHIM, Mostafa Abdel-Bary, (2014).

«3D Laser Scanners: History, Applications, and Future». ResearchGate

<http://www.researchgate.net/publication/267037683> - consultado em 3/8/2015

ECO, Umberto, (1971).

A Estrutura Ausente. São Paulo: Editora Perspetiva.

EDWARDS, Brian, (2008).

Understanding Architecture through Drawing (2ª Ed). New York: Taylor & Francis.

EVANS, Brian, (2012).

Practical 3D Printers – The Science and Art of 3D Printing. New York: Apress.

FERREIRA, Joana Casteleiro, (2014).

Design para Realidade Aumentada: Um Estudo em Contexto Educativo.

Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Belas-Artes.

Dissertação da Tese de Doutoramento.

FLORES, Victor, (2001).

«Escultura digital: para uma nova declinação da matéria e do tacto»,
in Caleidoscópio - Revista de Comunicação e Cultura, 1: pp. 23 - 30.

FISHWICK, Paul, (1995).

Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds. Prentice Hall.

FISHWICK, Paul (Ed). (2006).

Aesthetic Computing. Cambridge, MA: The MIT Press.

FRAGOSO, Maria Luiza (Ed) (2005).

[Maior e Igual a 4D] ≥ 4D – Arte Computacional no Brasil: Reflexão e Experimentação. Brasília: Instituto de Artes UnB.

FRIEDBERG, Anne, (2006).

The Virtual Window – From Alberti to Microsoft. Cambridge, MA: The MIT Press.

GARDINER, Hazel & GERE, Charlie (Ed). (2010).

Art Practice in a Digital Culture. Farnham: Ashgate e-Book.

GERE, Charlie, (2008).

Digital Culture. London: Reaktion Books.

GEROIMENKO, Vladimir (Ed). (2014).

Augmented Reality Art – From an Emerging Technology to a Novel Creative Medium. Plymouth, UK: Springer.

GIANNETTI, Claudia, (2012).

Estética Digital - Sintopia da arte, Ciência e Tecnologia. Lisboa: Vega.

GILL, Robert W., (2006).

Perspective. London: Thames & Hudson.

GLEINIGER, Andrea & VRACHLIOTIS, Georg (Ed). (2008).

Simulation – Presentation Technique and Cognitive Method. Basel: Birkhauser.

GRAU, Oliver, (2003).

Virtual Art - From Illusion to Immersion. Cambridge, MA: The MIT Press.

GRAU, Oliver (Ed). (2010).

MediaArtHistories. Cambridge, MA: The MIT Press.

GRAU, Oliver (Ed). (2011).

Imagery in the 21st Century. Cambridge, MA: The MIT Press.

GREENE, Rachel, (2004).

Internet Art. London: Thames & Hudson.

GREGORY, Paola, (2003).

New Scapes – Territories of Complexity. Basel: Birkhauser.

GROVER, Chris, (2009).

Google SketchUp: The Missing Manual. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.

GUTIÉRREZ, Mario A. *et al.* (2008).

Stepping into Virtual Reality. London: Springer.

HANSEN, Mark B. N., (2003).

New Philosophy for New Media. Cambridge, MA: The MIT Press.

HARRISON, Dew (Ed). (2013).

Digital Media and Technologies for Virtual Artistic Spaces. Hershey, PA: IGI Global.

HAUSMAN, Kalani Kirk & HORN, Richard, (2014).

3D Printing for Dummies. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

HUGHES, John F. *et al.* (2014).

Computer Graphics – Principles and Practice (3ª Ed). New York: Addison-Wesley.

HORVATH, Joan, (2014).

Mastering 3D Printing – Modeling, Printing, and Prototyping with RepRap-Style 3D Printers. New York: Apress.

IACOVONI, Alberto, (2004).

Game Zone – Playgrounds between Virtual Scenarios and Reality. Basel: Birkhauser.

IZAGIRRE, Josu R. *et al.* (1997).

Lo TECNOLógico en el Arte - De la Cultura Vídeo a la Cultura Ciborg. Barcelona: Virus Editorial.

JULLIER, Laurent, (2004).

La Imagen Digital - De la Tecnología a la Estética. Buenos Aires: La Marca.

KWASTEK, Katja, (2013).

Aesthetics of Interaction in Digital Art. Cambridge, MA: The MIT Press.

KRAUSS, Rosalind E., (1981).

Passages in Modern Sculpture. Cambridge, MA: The MIT Press.

KRAUSS, Rosalind E., (1986).

The Originality of the Avant-Garde and Other Modern Myths. Cambridge, MA: MIT Press.

LEFÈFRE, Wolfgang (Ed). (2004).

Picturing Machines 1400-1700. Cambridge, MA: The MIT Press.

LÉVY, Pierre, (1994).

As Tecnologias da Inteligência – O Futuro do Pensamento na Era da Informática. Lisboa: Instituto Piaget.

LÉVY, Pierre, (1996).

O que é o Virtual? São Paulo: Editora 34.

LÉVY, Pierre, (1999).

Cibercultura. São Paulo: Editora 34.

LIPOVETSKY, Gilles & CHARLES, Sébastien, (2011).

Os Tempos Hipermodernos. Lisboa: Edições 70.

LISTER, Martin *et al.* (2009).

New Media. A Critical Introduction (2ª Ed). Abingdon, England: Routledge.

MALABY, Thomas M. (2009).

Making Virtual Worlds: Linden and Second Life. Ithaca: Cornell Univ. Press.

MALDONADO, Tomás, (2007).

Memoria e Conocimiento - Sobre los Destinos del Saber en la Perspectiva Digital.

Barcelona: Gedisa Editorial.

MANOVICH, Lev, (2001).

The Language of New Media. Cambridge, MA: The MIT Press.

MANOVICH, Lev, (2013).

Software Takes Command. New York: Bloomsbury.

MANZANARES, María Luisa Sobrino, (1999).

Escultura Contemporanea en el Espacio Urbano. Madrid: Sociedad Editorial Electa

España – Fundación Caixagalicia

MARCHÁN, Simon, (2006).

Real/Virtual en la estética y la teoría de las artes. Barcelona: Paidós.

MARGALEF, Jose Bayo, (1987).

Percepción, Desarrollo Cognitivo y Artes Visuales. Barcelona: Editorial Anthropos.

MASÓ, Alfonso, (1997).

Qué Puede ser una Escultura. Granada: Grupo Editorial Universitario.

MASSAD, Fredy & YESTO, Alicia Guerrero (ed). (2002).

Architecturanimation – a+a. Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.

MCCONNON, Neil et al (2014).

Digital Revolution – An Immersive Exhibition of Art, design, Film, Music and Videogames. London: Barbican.

MCCULLOUGH, Malcolm, (1998).

Abstracting Craft: The Practiced Digital Hand. Cambridge, MA: The MIT Press.

MCLUHAN, Marshall, (1968).

Understanding Media. London: Sphere.

MELO E CASTRO, E. M. de, (1988).

Poética dos Meios e Arte High Tech. Lisboa: Veja.

MILGRAM, Paul *et al*, (1995).

«**Augmented Reality: A class of displays on the Reality-Virtuality Continuum**».

SPIE, Telem manipulator and Telepresence Technologies. Vol. 2351, 282-292.

MIRANDA, José Bragança de, (1999).

«**Real vs. Virtual**». *Revista de Comunicação e Linguagens*, 25 - 26. Lisboa: Edições Cosmos

MIRZOEFF, Nicholas, (2003).

Una Introducción a la Cultura Visual. Barcelona: Paidós.

MOLES, Abraham, (1990).

Arte e Computador. Porto: Edições Afrontamento.

MONGEON, Bridgette, (2015).

3D Technology in Fine Art and Craft: Exploring 3D Printing, Scanning, Sculpting and Milling. Burlington, MA: Focal Press.

MURRAY, Janet Horowitz, (1997).

Hamlet on the Holodeck – The Future of Narrative in Cyberspace. Cambridge, MA: The MIT Press.

NEGROPONTE, Nicholas, (1995).

Being Digital. New York: Alfred A. Knopf. Inc.

NUNES, Fábio Oliveira, (2010).

Ctrl+Art+Del – Distúrbios em Arte e Tecnologia. São Paulo: Editora Perspectiva S.A.

OLIVEIRA, Pedro Miguel, (2015).

«**Jogo de Espelhos**». in *Exame Informática*, No. 236, pp. 62 – 69.

PANOFSKY, Erwin, (1999).

A Perspectiva como Forma Simbólica, Lisboa: Edições 70.

PAUL, Christiane, (1999).

«**Fluid Borders: The Aesthetic Evolution of Digital Sculpture**», in *International Sculpture Center*.

www.sculpture.org/documents/news.htm em Out. 1999.

PAUL, Christiane, (2008).

Digital Art (2ª Ed). London: Thames & Hudson.

POPPER, Frank, (1993).

Art of the Electronic Age. New York: Harry N. Abrams, Inc.

POPPER, Frank, (2007).

From Technological to Virtual Art. Cambridge, MA: The MIT Press.

POTTS, Alex, (2001).

The Sculptural Imagination - Figurative, Modernist, Minimalist. London: Yale University Press.

READ, Herbert, (1964).

Modern Sculpture – A Concise History. London: Thames & Hudson.

REVEZ, José Manuel, (2006).

Ambiente Hipermedia para o Ensino da Perspectiva Linear Plana.

Lisboa: Universidade Aberta. Tese de Mestrado em Comunicação Educacional Multimédia.

RODRÍGUEZ, Delfín *et al.* (2003).

Qué es la Escultura Moderna? Del Objeto a la Arquitectura. Madrid: FCMV

RUSH, Michael, (2005).

New Media in Art. London: Thames & Hudson.

RUSH, Michael, (2007).

Video Art. London: Thames & Hudson.

RUSSETT, Robert, (2009).

HyperAnimation – Digital Images and Virtual Worlds. New Barnet, Herts: John Libbey Publishing.

RYAN, Marie-Laure, (2004).

La Narración como Realidad Virtual - La Inmersión y la Interactividad en la Literatura y en los Medios Electrónicos. Barcelona: Paidós.

SANTOS, A. M. Nunes dos (Ed), (1993).

Arte e Tecnologia. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

SARTORI, Giovanni, (2000).

Homo Videns – Televisão e Pós-Pensamento. Lisboa: Terramar.

SHAPIRO, Linda & STOCKMAN, George, (2001).

Computer Vision. New Jersey: Prentice Hall.

SCHENK, Toni, (2005).

Introduction to Photogrammetry. Columbus, OH: The Ohio State University.

SHIELDS, Rob, (2005).

The Virtual. New York: Taylor & Francis e-Library.

SHIFFMAN, Daniel, (2008).

Learning Processing – A Beginners's Guide to Programming Images, Animation, and Interaction. Burlington, MA: Elsevier.

SHNEIDERMAN, Ben, (2003).

Leonardo's Laptop - Human Needs and the New Computing Technologies.
Cambridge, MA: The MIT Press.

SIMANOWSKI, Roberto, (2011).

Digital Art and Meaning. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

SZELISKI, Richard, (2011).

Computer Vision - Algorithms and Applications. New York: Springer.

LUCIE-SMITH, Edward, (2004).

The Thames & Hudson Dictionary of Art Terms (2ª Ed). London: Thames & Hudson.

TANG, Xin-Xing, (2012).

Virtual Reality – Human Computer Interaction. Rijeka: InTech.

TOZ, Gonul & DURAN, Zaide, (2004).

«**Documentation and Analysis of Cultural Heritage by Photogrammetric Methods and GIS: A Case Study**». in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, İstanbul, Vol XXXV, Part B2.
<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm5/papers/593.pdf> - Consultado em 15/8/2015.

TRIBE, Mark & JANA, Reena (2007).

New Media Art. Koln: Taschen.

TUCKER, William, (1977).

The Language of Sculpture. London: Thames & Hudson.

UZELAC, Aleksandra & CVJETICANIN, Biserka (Ed). (2008).

Digital Culture: The Changing Dynamics. Zagreb: Institute for International Relations.

VELTMAN, Kim, (2006).

Understanding New Media – Augmented Knowledge and Culture. Calgary, Alberta: University of Calgary Press.

WANDS, Bruce, (2006).

Art of the Digital Age. London: Thames & Hudson.

WARE, Colin, (2004).

Information Visualization: Perception for Design (2ª Ed). San Francisco: Elsevier.

WELLMER, Albrecht, (1993).

Sobre la Dialéctica de Modernidad y Postmodernidad – La Crítica de la Razón después de Adorno. Madrid: Visor

WERTHEIM, Margaret, (1999).

The Pearly Gates of Cyberspace – A History of Space from Dante to the Internet. New York: W. W. Norton & Company.

WEISBERG, David E. (2008).

The Engineering Design Revolution - The People, Companies and Computer Systems That Changed Forever the Practice of Engineering. Englewood, CO.

Distribuição livre *on-line* em: www.cadhistory.net

WHYTE, Jennifer, (2002).

Virtual Reality and the Built Environment. London: Architectural Press.

WILSON, Stephen, (2003).

Information Arts: Intersections of Art, Science and Technology. Cambridge, MA: MIT Press.

WILSON, Stephen, (2010).

Art+Science Now. London: Thames & Hudson.

WOLF, Mauro, (1992).

Teorias da Comunicação. Lisboa: Editorial Presença.

ZEMAN, Nicholas, (2015).

Essential Skills for 3D Modeling, Rendering, and Animation. Boca Raton, FL: CRC Press.

ZIELINSKI, Siegfried, (2006).

Deep Time of the Media - Toward an Archaeology of Hearing and Seeing by Technical Means. Cambridge, MA: The MIT Press.

ZUNZUNEGUI, Santos, (1995).

Pensar la Imagen, Madrid: Ediciones Cátedra.